

Aus dem  
Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg in Zusammenarbeit mit  
dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann  
Abteilung für Zahnerhaltung  
Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss

---

**Einfluss des Übungseffektes auf die  
Anwendungssicherheit der maschinellen  
Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Feilen  
in der studentischen Ausbildung**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin der  
Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt

von  
**Stephan Delschen**  
aus Krefeld

Marburg 2006

Angenommen vom Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg am

12.10.06

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan:	Prof. Dr. B. Maisch
Referent:	Prof. Dr. V. Stachniss
Korreferent:	Prof. Dr. M. Gente

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Literatur</b>	<b>2</b>
2.1. Historische Entwicklung von Instrumenten zur Wurzelkanalaufbereitung	2
2.2. Die Wurzelkanalaufbereitung	4
2.2.1. Ziele der Aufbereitung	4
2.2.2. Häufigkeit und Erfolgswahrscheinlichkeit von Wurzelkanalbehandlungen	5
2.2.3. Aufbereitungsfehler bei gekrümmten Kanalverläufen	6
2.3. Nickel-Titan-Legierungen für Aufbereitungsinstrumente	8
2.4. Manuelle Instrumente	11
2.4.1. K-Feilen	11
2.4.2. Manuelle Feilen aus Nickel-Titan	12
2.5. Maschinelle Instrumente	13
2.5.1. Das FlexMaster-System	13
2.6. Endodontie in der studentischen Ausbildung	14
2.7. Verfahren zur Beurteilung der Kanalaufbereitung	16
2.7.1. Studienmodelle	16
2.7.2. Materialabtrag	17
2.8. Statistische Auswertung	17
<b>3. Zielsetzung</b>	<b>18</b>
<b>4. Material und Methode</b>	<b>19</b>
4.1. Versuchsdesign	19
4.2. Instrumente zur Kanalaufbereitung	20
4.3. Vorbehandlung der Kunststoffprobekörper	22
4.4. Bilddokumentation der artifiziellen Wurzelkanäle	23
4.5. Randomisierung	24
4.6. Versuchsablauf	25

4.6.1. Manuelle Aufbereitung	25
4.6.2. Maschinelle Aufbereitung	26
4.7. Zeitmessung der Aufbereitung	28
4.8. Befragung der Studierenden	29
4.9. Bilddokumentation der aufbereiteten Wurzelkanäle	30
4.10. Beurteilung der Kanalmorphologie	30
4.11. Beurteilung der Aufbereitungslänge	31
4.12. Beurteilung des apikalen Foramens	31
4.13. Bildüberlagerungen am PC	33
4.14. Beurteilung der Transportation	34
4.15. Auswertung der Instrumentenfrakturen	35
4.16. Statistische Auswertung	35
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>37</b>
5.1. Vergleich der manuellen und maschinellen Aufbereitung	37
5.1.1. Kanalmorphologie	37
5.1.2. Aufbereitungslänge	38
5.1.3. Zustand des apikalen Foramens	39
5.1.4. Transportation der Kanäle	40
5.1.5. Aufbereitungszeit	42
5.1.6. Auswertung der Befragung	43
5.2. Vergleich der maschinellen Aufbereitungsergebnisse der Gruppen mit und ohne manuelle Vorübung	44
5.2.1. Kanalmorphologie	45
5.2.2. Aufbereitungslänge	47
5.2.3. Zustand des apikalen Foramens	48
5.2.4. Transportation der Kanäle	49
5.2.5. Aufbereitungszeit	50
5.3. Erfassung der Instrumentenfrakturen	51
5.3.1. Vergleich der Frakturnraten bei der manuellen und der maschinellen Aufbereitung	51
5.3.2. Vergleich der Frakturnraten von Gruppe A und Gruppe B	52

<b>6. Diskussion</b>	<b>53</b>
6.1. Material und Methode	53
6.1.1. Auswahl der Feilen und der Schrittmotoren	53
6.1.2. Auswahl der Studienteilnehmer	54
6.1.3. Studienmodelle	54
6.1.4. Randomisierung	56
6.1.5. Aufbereitung der Wurzelkanäle	56
6.1.6. Zeitmessung	57
6.1.7. Auswertungen	58
6.1.7.1. Beurteilung der Kanalmorphologie	58
6.1.7.2. Beurteilung der Aufbereitungslänge	59
6.1.7.3. Beurteilung des apikalen Foramens	59
6.1.7.4. Beurteilung der Transportation	59
6.1.7.5. Instrumentenfrakturen	61
6.2. Ergebnisse	62
6.2.1. Vergleich der manuellen und der maschinellen Aufbereitungsergebnisse	62
6.2.1.1. Kanalmorphologie	62
6.2.1.2. Aufbereitungslänge	63
6.2.1.3. Zustand des apikalen Foramens	63
6.2.1.4. Transportation der Kanäle	64
6.2.1.5. Aufbereitungszeit	65
6.2.1.6. Auswertung der Befragung	66
6.2.2. Aufbereitungsergebnisse der Gruppen mit und ohne manueller Vorübung	67
6.2.3. Instrumentenfrakturen	68
6.3. Schlussfolgerung	70
 <b>7. Zusammenfassung</b>	 <b>71</b>
7.1. Zusammenfassung (Rigorosum)	71
7.2. Zusammenfassung (Marburger Bibliographie)	75
7.3. Abstract	76
7.3.1. Englische Version	76
7.3.2. Deutsche Version	77

<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>78</b>
<b>9. Anhang</b>	<b>91</b>
9.1. Materialliste	91
9.2. Tabellen	93
9.3. Erklärung zur Vorabveröffentlichung von Ergebnissen	97
9.4. Lebenslauf	98
<b>10. Danksagung</b>	<b>99</b>
<b>11. Akademische Lehrer</b>	<b>100</b>
<b>12. Ehrenwörtliche Erklärung</b>	<b>101</b>

## **1. Einleitung und Problemstellung**

Ein wichtiges Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die vollständige Formgebung des Wurzelkanals und die Reinigung. Die Reinigung umfasst u.a. die Entfernung von Pulpagewebe und Mikroorganismen sowie von infiziertem und erweichtem Dentin.

Ziel der Formgebung ist ein konischer Kanalverlauf mit einer Verjüngung von koronal nach apikal. Der erweiterte Kanal sollte den ursprünglichen Kanalverlauf beinhalten. Das apikale Foramen sollte unversehrt bleiben.

Für die Wurzelkanalaufbereitung sind manuelle und maschinelle Instrumente auf dem Markt verfügbar. Seit der Einführung des Werkstoffs Nickel-Titan durch *Walia et al.* (1988) werden maschinelle Instrumente nahezu ausschließlich aus dieser hochflexiblen Legierung gefertigt. Studien zeigen, dass die mit maschinellen Wurzelkanalinstrumenten aufbereiteten Wurzelkanäle weniger Aufbereitungsfehler wie Kanalbegradigungen, Transportationen oder *Viae falsae* aufweisen als die mit manuellen Instrumenten bearbeiteten Kanäle. Die Anwendung von rotierenden Instrumenten stellt zudem eine Zeitersparnis beim Aufbereitungsvorgang dar.

Problematisch erscheint nach wie vor eine gegenüber Handinstrumenten erhöhte Frakturnrate bei den maschinellen Aufbereitungssystemen. Es wurde bisher nicht untersucht, ob das Erlernen einer manuellen Technik vor dem Anwenden einer maschinellen Technik zu einer geringeren Frakturnrate bei der maschinellen Aufbereitung führt. In der studentischen Ausbildung hat bislang die manuelle Wurzelkanalaufbereitung Priorität. Diese Studie soll einen Beitrag zur Frage der Integrierbarkeit einer maschinellen Aufbereitungstechnik in den studentischen Unterricht leisten.

## 2. Literatur

### 2.1. Historische Entwicklung von Instrumenten zur Wurzelkanalaufbereitung

Die frühesten Behandlungen von Zahnschmerzen sind von den Babyloniern bekannt. Mit Dämpfen und pflanzlichen Rezepturen wurden kariöse Kavitäten behandelt (Wolter 1955). Eine Schmerztherapie bei entzündlichen Pulpaerkrankungen mit Arsen oder verschiedenen Ätzmitteln belegen 4000 Jahre alte Schriften (Wolter 1955).

*Hippokrates* beschrieb gegen 400 v. Chr. als erster den Erhaltungsversuch eines Zahnes durch „Austrocknung“ mit einem Brenneisen (Lilley 1976, Rouot 1992). 100 n. Chr. verwendete *Archigenes von Syrien* den ersten Bohrer für eine Trepanation (Lilley 1976). Auch *Galen* (131-201 n. Chr.) benutzte bei Bedarf kleine Zugangsbohrer, um schließlich mit erhitzten Sonden eine Kauterisierung der Pulpa durchführen zu können.

Im arabischen Raum entwickelte gegen 1000 n. Chr. *Abulcasis* ein Instrument mit Schutzkanülen, um eine zu starke Überhitzung des umliegenden Gewebes bei der Anwendung von Brenneisen zu vermeiden (Wolter 1955, Milas 1987).

Bezogen sich diese Behandlungen bis dahin ausschließlich auf das Pulpenkavum, so gelang es *Falcucci* gegen 1400 n. Chr., feine Instrumente bis in die Wurzelkanäle hineinzuführen (Wolter 1955). An der Tagesordnung waren jedoch oftmals Therapien, die durch Rituale, unterschiedlichste Rezepturen und den Aderlass geprägt waren. Einen neuartigen Ansatz beschrieb *Dupont* 1633. Er empfahl das Extrahieren von schmerzverursachenden Zähnen, damit der Gefäß-Nerven-Strang des Zahnes abreißt. Nach Replantation der Zähne würden die Schmerzen nicht mehr bestehen (Wolter 1955).

In seinem richtungsweisenden Werk „Le chirurgien dentiste“ von 1728 listete *Fauchard* Instrumente zur Trepanation, zur Aufbereitung und zum Kauterisieren auf (Wolter 1955, Milas 1987), wobei es bis zum Ende des 18. Jahrhunderts nur wenige dünne und flexible Instrumente mit nicht definiertem Design für die eigentliche Wurzelkanalbehandlung gab (Coolidge 1960, Lilley 1976).



Obwohl *Delmond* 1824 als erster versuchte, pulpaes Gewebe vollständig mit Instrumenten zu entfernen (Grossmann 1976), wird *Maynard* 1838 das erste Aufbereitungsinstrument zugeschrieben, das er durch die Bearbeitung einer Uhrfeder herstellte (Grossmann 1976, Strübig 1989). Dieses Instrument benutzte er zur Pulpaexstirpation, ein anderes zur Kanalerweiterung. Auch andere Zahnärzte wie *Arthur* (Szep 1995), *Maury* (Hoffmann-Axthelm 1973), *Harris* (Grossmann 1976) oder *Barre* (Wolter 1955) entwickelten im 19. Jahrhundert Exstirpationsnadeln. *Taft* und *Tomes* konzentrierten sich 1859 auf die Entwicklung von Instrumenten zur Kanalerweiterung (Grossmann 1976). *Tomes* benutzte für die Erweiterung feine, spiralförmige Ahlen (Michel 1993). *Mills* (1883) und *Richmond* (1884) verwendeten Holzstäbchen zur Pulpaexstirpation (Milas 1987, Grossmann 1971).

Der erste Gates-Glidden-Bohrer zur Kanalerweiterung wurde schließlich 1885 vorgestellt (Szep 1995). *Kerr* entwickelte 1915 die K-Feile (Ingle & Bakland 1994). Die Hedström-Feile folgte 1927 (Hedström 1927). Bis heute dauert die technische Weiterentwicklung der Handinstrumente an.

1892 stellte *Oltramare* die ersten maschinell angetriebenen Wurzelkanalinstrumente vor (Dietz 1983). *Oltramare* entwarf für die Bohrmaschine feine vierkantige Stahlstäbchen, um die sich nach Einbringen in einen Kanal und Betätigen eines Pedals das Pulpengewebe wickelte. Nach Gebrauch sollten die Stäbchen nicht mehr verwendet werden, es sei denn, das gebogene Ende sei entfernt und neu angespitzt worden.

*Rollins* gilt als Erfinder des ersten Endodontie-Winkelstücks, das er 1899 präsentierte. Die Reduktion auf 100 Umdrehungen pro Minute sollte einen Schutz vor Instrumentenfraktur garantieren (Milas 1987). Damit konnten Nervkanalerweiterer, Nervkanalbohrer bzw. Beutelrock-Bohrer rotierend zur Wurzelkanalbehandlung eingesetzt werden (Michel 1993).

Die eigentliche Ära der maschinellen Aufbereitungssysteme begann Ende der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts mit der Präsentation des Racer-Feilkopfes 1958, der mit Hubbewegungen arbeitete, sowie mit dem Giromatic-Winkelstück 1964, welches reziproke Viertelkreisdrehungen durchführte. Die Abkehr von einem vollständig starren Bewegungsmuster erzielte *Levy* 1984 mit dem Canal-Finder-System. Auch nachfolgende Entwicklungen arbeiteten mit einem

modifizierten Bewegungsablauf, wie Excalibur, Endoplaner oder Canal Leader 2000.

Seit der Einführung des Werkstoffs Nickel-Titan durch *Walia et al.* (1988) in die Endodontie werden maschinelle Instrumente nahezu ausschließlich aus dieser hochflexiblen Ni-Ti-Legierung gefertigt.

Die Suche nach alternativen Aufbereitungssystemen führte 1957 zur Entwicklung der ersten Ultraschall-Instrumente für die Endodontie durch *Richman*, wobei erst 1980 das erste Ultraschallsystem auf dem Markt erhältlich war. 1984 folgte das erste Schallvibrationssystem. An einem Unterdruckverfahren, das die Kanalreinigung und Kanalfüllung ohne Instrumente ermöglichen soll, arbeiten Wissenschaftler in der Schweiz (Lussi et al. 1993).

## **2.2. Die Wurzelkanalaufbereitung**

### **2.2.1. Ziele der Aufbereitung**

Eine entscheidende und schwierige Phase der Wurzelkanalbehandlung ist die Aufbereitung. Die komplexe Morphologie des Kanalsystems, die mikrobiologische Infektion des Dentins und Schwierigkeiten, die in Zusammenhang mit den Instrumenten stehen, können bei der Aufbereitung Probleme verursachen. Durch den Aufbereitungsvorgang soll ein Kanal bei einer Wurzelkanalbehandlung gereinigt werden und für die danach erfolgende Wurzelkanalfüllung eine konische Präparationsform erhalten. Die *European Society of Endodontology* (1994) spricht folgende Empfehlungen für die Aufbereitung aus:

- Die Reinigung des Kanals soll die Entfernung von vitalem, bzw. nekrotischem Pulpagewebe und die Elimination von Mikroorganismen und Debris (frz.: Abraum) umfassen.
- Die bearbeiteten Wurzelkanäle sollten den ursprünglichen Kanalverlauf beinhalten.
- Die apikale Konstriktion sollte erhalten, bzw. unbearbeitet bleiben.
- Der Kanal sollte eine konische Verlaufsform erhalten und in einer apikalen Verengung enden.

- Während der Präparation sollte reichlich gespült werden.
- Die endgültige Aufbereitungslänge sollte der vorher bestimmten Arbeitslänge entsprechen.

Ergänzend dazu wird von einigen Autoren ein eindeutiger apikaler Stopp gefordert (Glickman & Dumsha 1991, Tronstad 1991, Hoppe et al. 1993). Der apikale Stopp soll bei der nachfolgenden Kondensation der Wurzelfüllung die Unversehrtheit des periapikalen Parodontiums durch die Verhinderung der Überstopfung von Wurzelfüllmaterial garantieren. Die Wurzelkanalfüllung sollte am physiologischen Apex enden, bzw. 1 mm koronal des radiographischen Apex (Melius et al. 2002). Klinisch bedeutet dies, dass die Wurzelkanalfüllung in der Regel im Bereich von 0-2 mm koronal des röntgenologischen Apex endet.

### **2.2.2. Häufigkeit und Erfolgswahrscheinlichkeit von Wurzelkanalbehandlungen**

In einer retrospektiven in-vivo-Studie von *Schulte et al.* wiesen bei einer 1983 untersuchten Patientengruppe 2,2 % der Zähne eine Wurzelkanalbehandlung auf; 1992 wiesen bei einer Patientengruppe 3,6 % der Zähne eine Wurzelkanalbehandlung auf (Schulte et al. 1998). In anderen Veröffentlichungen lag die Häufigkeit von wurzelkanalbehandelten Zähnen 1983 bei 3,2 % bzw. 1991 bei 4,6 % (Klimek et al. 1995).

Folgende Kriterien werden von der *European Society of Endodontology* für einen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung beschrieben (ESE 1992):

- Vorhandensein eines intakten periodontalen Ligaments oder der Lamina dura
- Veränderung in Größe oder Auftreten von periradikulären Läsionen
- Abwesenheit von externen oder internen Wurzelresorptionen
- kein Spontanschmerz vorhanden
- keine Aufbiss- oder Perkussionsempfindlichkeit
- keine Empfindlichkeit des Weichgewebes bei Palpation
- keine Schwellung des Weichgewebes
- keine pathologische Beweglichkeit des behandelten Zahnes

Multiple Faktoren haben Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung:

- die Länge der Wurzelfüllung in Relation zum Apex (Harty et al. 1970, Kerekes & Tronstad 1979, Matsumoto et al. 1987, Ray & Trope 1995)
- die Dichte der Wurzelfüllung (Harty et al. 1970, Kerekes & Tronstad 1979)
- das Vorhandensein von periradikulären Aufhellungen (Kerekes & Tronstad 1979, Matsumoto et al. 1987)

Andere Faktoren, wie die einer Wurzelkanalbehandlung nachfolgende Restaurationsart (Ray & Trope 1995) oder auch parodontale Läsionen (Matsumoto et al. 1987) oder die Anzahl der Sitzungen, beeinflussen weiterhin das Ergebnis der endodontischen Behandlung.

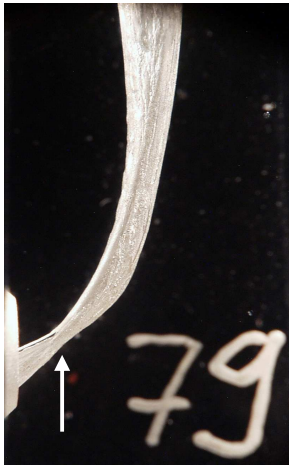
Die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Wurzelkanalbehandlung wird von *Benenati* und *Khajotia* mit 91% angegeben (Benenati & Khajotia 2002). *Lazarski et al.* konnten Erfolge nach 3,5 Jahren bei 94% der Behandlungen feststellen (Lazarski et al. 2001). *Friedman et al.* wiesen bei 78% der Wurzelkanalaufbereitungen eine erfolgreiche Behandlung nach (Friedman et al. 1995). Auch weitere Autoren bestätigen in etwa diese Erfolgsaussichten. Sie geben an, dass mindestens 80% der Zähne erfolgreich therapiert wurden (Kerekes & Tronstad 1979, Guldener & Langeland 1987, Schmalz 1990).

### **2.2.3. Aufbereitungsfehler bei gekrümmten Kanalverläufen**

84% der Wurzelkanäle aller Zahngruppen und 100% der Molarenkanäle weisen eine Krümmung auf (Cunningham & Senia 1992, Schäfer et al. 2002). Um einen gleichmäßigeren Dentinabtrag an der Innen- und Außenkurvatur eines Kanals zu erreichen, sollte eine Kanaleingangsdarstellung (Preflare) mit Gates-Glidden-Bohrern die Präparation eines Kanals einleiten (Qualtrough et al. 1999, Schrader et al. 1999). Besonders im apikalen Kanaldrittel eines gekrümmten Kanals weisen Instrumente aus hochflexiblen Legierungen Vorteile gegenüber Edelstahlinstrumenten auf. Bestimmte Aufbereitungsfehler entstehen u.a. durch die Rückstellkraft der Instrumente (Weine et al. 1975, 1976, Schäfer & Vlassis

2005). Dazu zählen folgende morphologische Veränderungen der Wurzelkanäle:

- Entstehung eines Elbow (Isthmus; Abb. 1)
- Bildung eines Zip (Trichter; Abb. 2)
- Herstellung eines Ledge (Stufe; Abb. 3) an der Außenseite des Kanals



*Abb. 1: Der Kanal weist einen Isthmus auf (Elbow)*



*Abb. 2: Der Kanal weist eine Sanduhrformation auf (Zip)*



*Abb. 3: Der Kanal weist eine Stufe auf (Ledge)*



*Abb. 4: Der Kanal zeigt eine konische Aufbereitung*

Zusätzlich bereiten Begradigungen und Perforationen der Wurzelkanäle Probleme. Durch unzureichende Formgebung kann die vollständige Reinigung der apikalen Region und die abschließende Wurzelfüllung deutlich erschwert, bzw. nur noch insuffizient durchgeführt werden. Dentinspäne beinhalten vitales oder nekrotisches Pulpengewebe und haften an Wurzelkanalwänden, die meistens infiziertes Material aufweisen. Wird ein Kanal bereits während einer Aufbereitung durch nach apikal geschobene abgeschabte Dentinspäne verblockt, geht dies einher mit einem Verlust der Arbeitslänge. Dieser „apical plug“ verhindert die suffiziente Reinigung der apikalen Region und vermindert somit eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung (Molven & Halse 1988). *Davis et al.* beschreiben, dass durch die Kanaleingangsdarstellung ein Verlust der Arbeitslänge vermindert werden kann (Davis et al. 2002).

### **2.3. Nickel-Titan-Legierungen für Aufbereitungsinstrumente**

Titan erlangte ab 1950 die Aufmerksamkeit der Industrie aufgrund seines niedrigen Elastizitätsmoduls und der geringen Korrosionsneigung. Die später vom Naval Ordnance Laboratory (Silver Spring, Maryland/USA) vorgestellte Legierung wurde als NiTinol bekannt und besteht aus annähernd gleichen Teilen Nickel und Titan. Nachdem Nickel-Titan (Ni-Ti) bereits in der Kieferorthopädie als Drahtmaterial verwendet worden war, wurde Ni-Ti 1988 durch *Walia* in die Endodontie eingeführt (Walia et al. 1988).

Für die Herstellung von Aufbereitungsinstrumenten zur Wurzelkanalbehandlung wird die so genannte 55-Nitinol-Legierung mit 55 m% Nickel und 45 m% Titan oder eine 60-Nitinol-Legierung mit 60 m% Nickel und 40 m% Titan verwendet (Schäfer 2002). Für die Herstellung von manuellen Instrumenten werden diese und weitere Legierungen verwendet, z.B. mit zusätzlicher Beimischung von Aluminium. Bei maschinellen Aufbereitungssystemen wird bisher nur die 55-Nitinol-Legierung angewendet (Schäfer 2002). Bei der Fertigung von maschinellen Aufbereitungsfeilen aus Ni-Ti wird auf eine Verdrillung verzichtet (Schäfer 2002). Nickel-Titan-Instrumente werden durch Schleifen aus einem Rohling hergestellt.

<i>Systeme/Elemente</i>	Ni	Ti	Co	Fe
Maschinelle FlexMaster-Feilen und manuelle K-Feilen	55,28 m%	44,42 m%	0,27 m%	0,03 m%

*Tab.1: Legierungszusammensetzung der in der Studie verwendeten Instrumente*

Das Elastizitätsmodul gibt das Verhältnis zwischen mechanischer Spannung und elastischer Verformung an und ist somit ein direktes Maß für den Widerstand gegen elastische Verformung (Lexikon Zahnmedizin 2000). Die Ni-Ti-Legierung weist ein um 33-43% niedrigeres Elastizitätsmodul als Edelstahl auf. Das Biegemoment der Nickel-Titan-Legierung liegt ebenfalls deutlich unter dem des Edelstahls. Nickel-Titan-Instrumente zeigen auch bei zunehmendem Biegemoment in einem weiten Bereich eine elastische Deformation. Diese Eigenschaft der Ni-Ti-Legierung wird als Pseudoelastizität bezeichnet. Bei Überschreiten der kritischen Spannungsgrenze erfolgt eine Umwandlung der Metallgitterstruktur. Die Austenit-Phase (Hochtemperaturphase) der Nickel-Titan-Legierung geht bei Druckzufuhr in die Martensit-Phase (Tieftemperaturphase) über. Das Kristallgitter wird so bei zunehmender Belastung plastisch verformbar. Unter einer starken Dehnung tritt somit nur eine geringfügig ansteigende Spannung auf. Nach Unterschreiten einer Spannungsgrenze erfolgt die Wiederherstellung der Austenit-Phase. (Andreasen et al. 1985, Lee et al. 1988, Stoeckel & Yu 1991, Serene et al. 1995). Ein Vorbiegen von Nickel-Titan-Instrumenten zur Aufbereitung ist somit nicht möglich (Glosson et al. 1995), wie es bei manueller Aufbereitung mit Edelstahlfeilen bei gekrümmten Kanälen gefordert wird (Beer & Baumann 1994, Ingle & Bakland 1994, Voß 1995).

Der für Nickel-Titan-Legierungen charakteristische Memoryeffekt beschreibt die Fähigkeit, eine auf Kristallgitterumwandlung beruhende plastische Deformation bei Erwärmen der Legierung auf über 125°C durch erneute Umwandlung des Kristallgitters spontan aufzuheben.

In der Mundhöhle, wie auch in isotonischer Kochsalzlösung, sind Korrosionen von Nickel-Titan-Legierungen möglich (Sarkar et al. 1979, Edie & Andreasen

1980, Sarkar & Schwaninger 1980, Clinard et al. 1981, Edie et al. 1981, Mayhew & Kusy 1988, Serene 1994, Serene et al. 1995). *Aten* zeigte, dass insbesondere der Kontakt mit der Wurzelkanalspülung Natriumhypochlorid nach Heißluftsterilisation oder nach Autoklavieren bereits zu Veränderungen der Instrumente führt (Aten 1993). Andere Autoren konnten keine Korrosionsprozesse bei Nickel-Titan-Instrumenten feststellen (Mayhew & Kusy 1988, Serene 1994, Serene et al. 1995), bzw. bescheinigen Nickel-Titan-Instrumenten eine hohe Korrosionsresistenz gegenüber NaOCl und EDTA-haltigen Spüllösungen (Darabara et al. 2004). *Testarelli et al.* weisen darauf hin, dass wiederholtes Sterilisieren von Nickel-Titan-Feilen zu keiner negativen Beeinflussung der Instrumente führt (Testarelli et al. 2003).

Eine erhöhte Frakturanfälligkeit von maschinellen Instrumenten gegenüber manuellen Instrumenten wurde von verschiedenen Autoren beschrieben (Pruett et al. 1997, Dietz et al. 2000, Turpin et al. 2000, Bergmans et al. 2001). Das grundsätzlich divergente Frakturverhalten von Nickel-Titan- und Edelstahl-Instrumenten erklärt sich durch das pseudoelastische Verhalten der Ni-Ti-Instrumente (Tepel 1994). Bei Ni-Ti-Feilen kommt es nur in einem sehr begrenzten Bereich zu sichtbaren Aufdrehungen der Verdrillung (Schäfer 1996). Maschinelle Instrumente rotieren fortlaufend, während mit manuellen Instrumenten maximal ein Drittel Drehungen durchgeführt werden. Folge ist, dass von einem Behandler Deformationen der maschinellen Instrumente erst nach einer höheren Anzahl von Rotationen als bei manuellen Instrumenten erkannt werden können.

Um Dentin bearbeiten zu können, müssen Wurzelkanalinstrumente eine höhere Vickers-Härte als Dentin besitzen. Die Härte des menschlichen Dentins beträgt 28 HV bis 35 HV. Für Edelstahlinstrumente wird eine Vickers-Härte von 522 HV bis 542 HV angegeben. Instrumente aus Ni-Ti weisen Werte zwischen 303 HV und 362 HV auf. Die höhere Vickers-Härte bei Edelstahlinstrumenten wirkt sich in einer höheren Schneidleistung gegenüber Nickel-Titan-Instrumenten aus. Die geringere Härte der Nickel-Titan-Instrumente, insbesondere im Bereich der Schneidekanten, soll zu einem schnellerem Verschleiß und somit zu einer reduzierten Anwendungshäufigkeit gegenüber Edelstahl-Instrumenten führen (Schäfer 2002).



Um eine Verbesserung der Oberflächenqualität und -härte der Ni-Ti-Instrumente sowie eine erhöhte Lebensdauer der Instrumente zu erzielen, werden verschiedene Beschichtungsverfahren erprobt. Dabei handelt es sich um Nachbehandlungen in einem elektrolytischen Polierverfahren, ionenplattierte Titannitridschichten oder Titanbromidschichten. Diese Nachbehandlung soll die Korrosion, den Verschleiß und den Abrieb der Schneidekanten reduzieren (Serene et al. 1995, Lee et al. 1996). Ob eine thermische Härtung von Ni-Ti-Instrumenten möglich ist, wird in der Literatur kontrovers diskutiert.

## **2.4. Manuelle Instrumente**

In einer Untersuchung von 1999 gilt die Aufbereitung mit manuellen Edelstahlfeilen als Methode der Wahl (Qualtrough et al. 1999). In Australien verwenden lediglich 22% der Allgemein-Zahnärzte und 64% der spezialisierten Endodontisten maschinelle Aufbereitungssysteme (Parashos & Messer 2004). Nach *Cailletteau* und *Mullaney* gilt bei Handinstrumenten die Step-back-Technik als bevorzugte Aufbereitungsmethode (Cailletteau & Mullaney 1997). Jedoch konnte in anderen Studien eine Verbesserung der Aufbereitungsergebnisse mit der Balanced-force-Technik gegenüber der Step-back-Technik gezeigt werden (Backman et al. 1992, Dummer & Al Omari 1994, Schäfer 1996). Von *Hankins & El Deeb* wurde zudem ein deutlicher Zeitvorteil bei Anwendung der Balanced-force-Technik gegenüber der Step-back-Technik festgestellt (Hankins & El Deeb 1996).

### **2.4.1. K-Feilen**

K-Feilen aus Edelstahl werden geschliffen und im Gegensatz zu Nickel-Titan Feilen anschließend durch maschinelle Verdrillung verfestigt (nach Herstellerangaben von VDW). K-Feilen besitzen einen dreieckigen oder viereckigen Querschnitt. Der Spanraum ist mit dem der Reamer zu vergleichen. K-Feilen wird eine hohe Bruchsicherheit bescheinigt (Tepel 1994). Über die effizienteste Arbeitsweise der K-Feilen herrscht Uneinigkeit. Während einige Autoren eine drehend-schabende Arbeitsweise empfehlen (Hoppe & Heinsen 1983, Weine 1989, Geurtsen et al. 1993, Hoppe et al. 1993, Schäfer et al.

1994d, Städtler 1994), schlagen andere Autoren eine lineare feilende Arbeitsweise der Instrumente vor (Mumford & Jedynakiewicz 1988, Weine 1989, Löst et al. 1992, Platzer & Sedelmayer 1993). Die Frage der Anwendungsmethode für den Erhalt der Verlaufsform gekrümmter Kanäle ist ebenfalls strittig. Eine aus dem Kanal heraus gerichtete Zugbewegung mit K-Feilen in gekrümmten Kanälen führt zu nicht akzeptablen Formabweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf (Haga 1968, Briseno 1992, Schäfer & Tepel 1993, Städtler 1994). Einige Autoren beschreiben, dass bei drehend-schabender Anwendung weniger Abweichungen vom originären Kanalverlauf zu erwarten sind als bei feilender Arbeitsweise (Jungmann et al. 1975). Andere Autoren hingegen kamen auch bei einer feilenden Anwendung in gekrümmten Kanälen zu guten Ergebnissen (Schilder 1974, Weine 1989, Löst et al. 1992). *Beer et al.* empfehlen eine Kombination aus drehenden und feilenden Auf- und Abwärtsbewegungen (Beer et al. 2004).

#### **2.4.2. Manuelle Feilen aus Nickel-Titan**

In der Literatur finden sich widersprüchliche Angaben über die Aufbereitungsergebnisse mit manuellen Instrumenten aus Nickel-Titan-Legierungen. Verschiedene Autoren beschreiben keine feststellbaren Unterschiede bezüglich der Aufbereitungsergebnisse mit Edelstahl- bzw. Ni-Ti-Instrumenten (Kersh et al. 1993, Bou Dagher & Yared 1995, Samyn et al. 1995, Stone et al. 1995). Andere Autoren berichten von zentrischen und gleichmäßiger aufbereiteten Kanälen mit Ni-Ti-Instrumenten gegenüber der Aufbereitung mit Edelstahl-Feilen (Himmel & Ahmed 1993, Haller et al. 1994, Pertot et al. 1994, Coleman et al. 1995, Esposito & Cunningham 1995, Pettiette et al. 1999, 2001), bzw. von guten Aufbereitungsergebnissen der manuellen Nickel-Titan-Instrumente (Garip & Gunday 2001, Weiger et al. 2003). Verschiedenen Untersuchungen zufolge soll die Aufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten schneller als die Aufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten sein (Bentkover & Wenckus 1994, Himmel et al. 1994). K-Feilen aus Ni-Ti weisen nach einmaliger Sterilisation eine signifikant reduzierte Schneidleistung auf (Schäfer 1995).

## **2.5. Maschinelle Instrumente**

Die aus Nickel-Titan gefertigten maschinellen Instrumente versprechen durch ihre hohe Flexibilität und den Memoryeffekt eine gute Formgebung der Kanalwände (Chen & Messer 2002, Schäfer 2002). Zeitersparnis und eine Erleichterung der Arbeitsweise werden als weitere Vorteile gegenüber manuellen Instrumenten genannt (Sonntag et al. 2003, Schäfer et al. 2004, Guelzow et al. 2005). Als nachteilig sind der höhere Anschaffungspreis und die Frakturneigung der maschinellen Instrumente zu nennen.

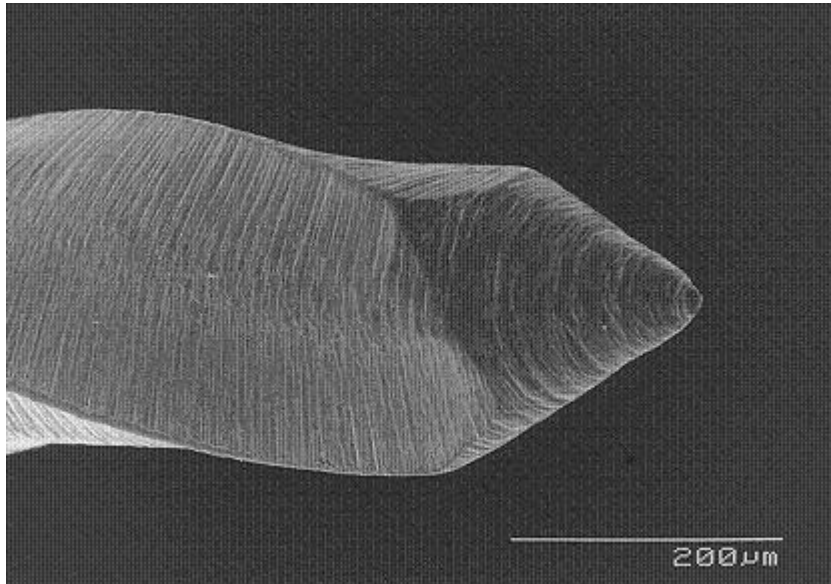
### **2.5.1. Das FlexMaster-System**

Die Feilen des FlexMaster-Systems besitzen eine nichtschneidende Batt-Spitze (Abb.5), konvexe Außenflächen (Abb. 6) und Schneidekanten vom Typ „K“ (Abb. 7).

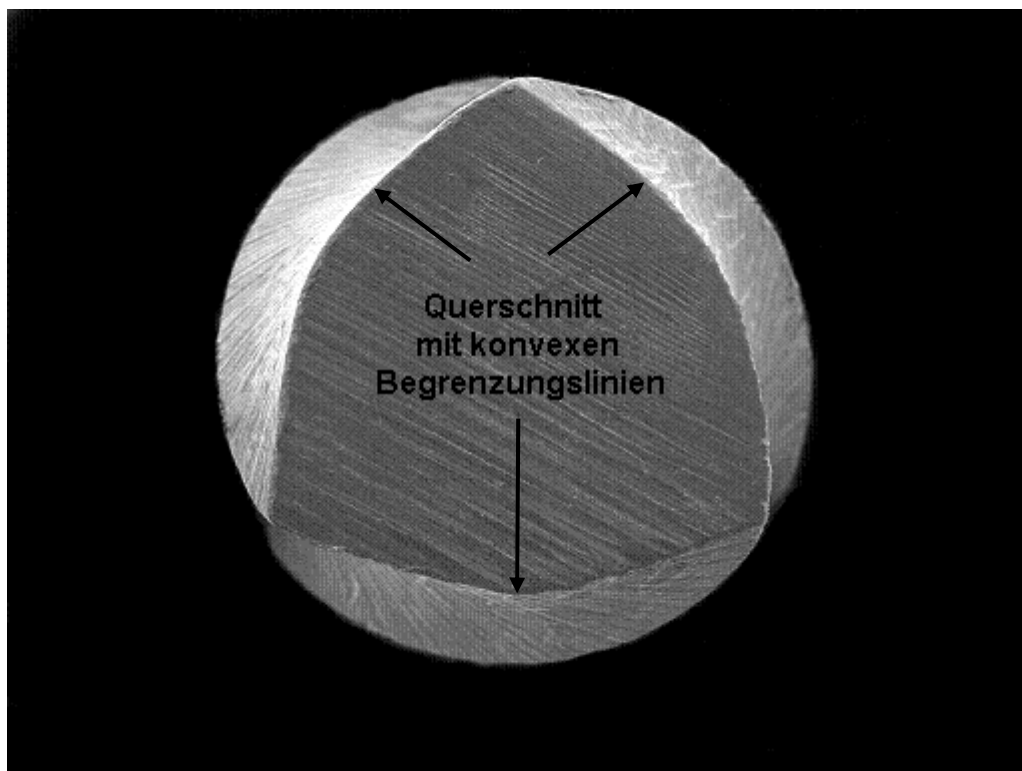
In einer Studie von *Hülsmann et al.* (Hülsmann et al. 2003) wurde das FlexMaster-System mit dem HERO 642 System verglichen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass beide Systeme sicher in ihrer Anwendung sind und keine starken Begradigungen der Kanäle auftreten. Bei der Präparation mit dem HERO 642 System wurde im Durchschnitt weniger Zeit benötigt als mit dem FlexMaster-System. *Weiger et al.* untersuchten die Aufbereitungsergebnisse von Lightspeed-Instrumenten, FlexMaster-Feilen und Ni-Ti-Handfeilen (Weiger et al. 2003). Transportationen von Kanälen traten bei der Aufbereitung mit FlexMaster-Feilen häufiger auf als mit Lightspeed-Instrumenten. Ein Verlust der Arbeitslänge konnte häufiger bei den Lightspeed-Instrumenten festgestellt werden, ebenso wie Instrumentenfrakturen. Aus den Studienergebnissen resultiert eine Empfehlung der Autoren für die Aufbereitung von gekrümmten Kanälen mit dem FlexMaster-System.

Bei einer vergleichenden Studie der Aufbereitungsergebnisse von manuellen K-Flexfeilen und FlexMaster-Feilen kommen die Autoren zu dem Schluss, dass mit FlexMaster-Instrumenten Kanäle schneller und mit weniger Aufbereitungsfehlern präpariert werden (Schäfer & Lohmann 2002). Bei der Anzahl der Instrumentenfrakturen gab es keine signifikanten Unterschiede. Andere Studien bescheinigen dem FlexMaster-System einen guten Erhalt des originären Kanalverlaufs, bzw. eine kürzere Aufbereitungszeit gegenüber

Handinstrumenten sowie eine geringe Frakturnrate (Schäfer et al. 2004, Guelzow et al. 2005).



*Abb. 5: FlexMaster-Feile mit nichtschneidender Batt-Spitze*



*Abb. 6: Querschnitt einer FlexMaster-Feile mit konvexen Begrenzungslinien*

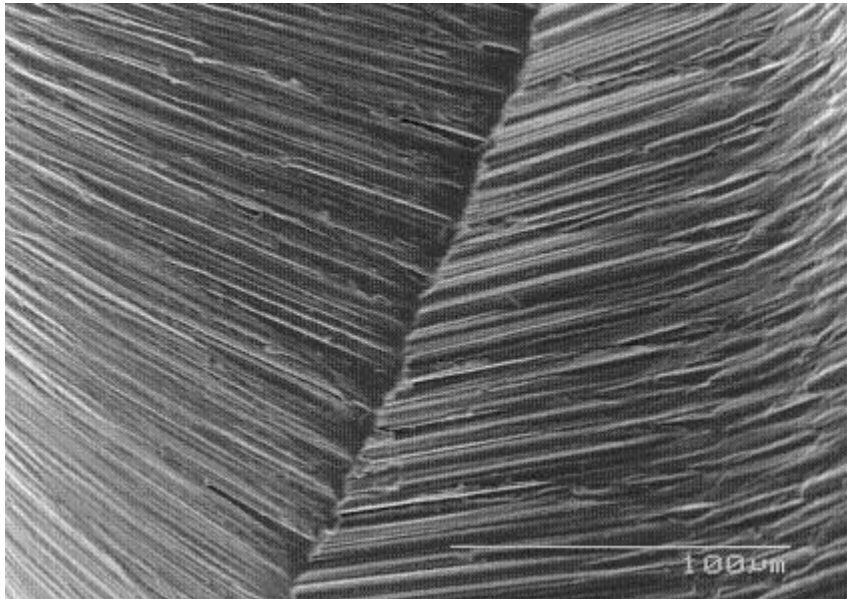


Abb. 7: Ausschnitt: Aufsicht auf die Schneidekante Typ „K“  
(FlexMaster- Feile)

## 2.6. Endodontie in der studentischen Ausbildung

Roth wies darauf hin, dass die Arbeitsweise ungeübter Studierender in der Endodontie unbeeinflusst von Aufbereitungstechniken und Erfahrungen mit anderen Instrumenten ist (Roth 2001). Resultat soll dabei sein, dass Fehler bei der Aufbereitung, die im Zusammenhang mit dem neuartigen Instrument stehen, eher von unerfahrenen Behandlern als von geübten Anwendern gemacht werden (Roth 2001). Yared *et al.* kommen zu dem Schluss, dass ein Training mit rotierenden Wurzelkanalinstrumenten vor der klinischen Anwendung entscheidend für eine Reduzierung von Instrumentendeformationen und Frakturen ist (Yared *et al.* 2002). Mandel *et al.* beschreiben ebenfalls die Notwendigkeit der Einarbeitung für die Behandlung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen (Mandel *et al.* 1999). Andere Autoren beschreiben die Abhängigkeit der benötigten Zeit für die Aufbereitung von der Erfahrung des Behandlers (Mesgouez *et al.* 2003).

In einem Leitfaden der *European Society of Endodontology* (ESE) von 1992 zur studentischen Ausbildung weist die Gesellschaft auf Ausbildungsziele hin. Eine Empfehlung zur Aufbereitungstechnik sowie zu Aufbereitungsinstrumenten wird nicht gegeben (ESE, Undergraduate Curriculum Guidelines 1992). Qualtrough

*et al.* stellen fest, dass ein Viertel der westeuropäischen, skandinavischen und nordamerikanischen Universitäten Nickel-Titan-Instrumente in die Ausbildung aufgenommen haben (Qualtrough et al. 1999). *Arbab-Chirani & Vulcain* stellen fest, dass an allen französischen Universitäten Kurse zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung angeboten werden und an 13 von 16 Universitäten Studierende maschinelle Instrumente zur Kanalaufbereitung verwenden können (*Arbab-Chirani & Vulcain 2004*).

## **2.7. Verfahren zur Beurteilung der Kanalaufbereitung**

### **2.7.1. Studienmodelle**

Erstmalig nutzten *Weine et al.* 1975 simulierte Wurzelkanäle, um den Aufbereitungseffekt zu visualisieren und empfahlen diese Methode für die Ausbildung. Auch in neueren Studien werden simulierte Wurzelkanäle eingesetzt (Sonntag et al. 2003, Schäfer & Vlassis 2004). Der Vorteil von künstlichen, durchsichtigen Zahnwurzeln besteht in der Möglichkeit, eine standardisierte Kanalgeometrie mit identischem Krümmungsradius, Durchmesser und Abriebeigenschaften zu erzeugen und damit eine Vergleichbarkeit von Aufbereitungsprozessen zu erzielen (Tepel et al. 1993). Obwohl Formveränderungen bei der Aufbereitung von Epoxidharz-Blöckchen ausgeprägter auftreten sollen als bei natürlichen Zähnen (Lim & Webber 1985), verweisen mehrere Autoren auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse zur Formveränderung auf natürliche Zähne (Lim & Webber 1985, Tepel et al. 1993). *Tepel* stellte eine Verringerung des Materialabtrages bei Kunststoff nach Spülung mit Natriumhypochlorid fest (Tepel et al. 1995). *Baumann* und *Roth* wiesen 1999 darauf hin, dass durch die Verwendung von Plastik-Blöckchen eine erhöhte Frakturnrate gegenüber der Aufbereitung natürlicher Zähne auftreten kann. Aufgrund der standardisierten Bedingungen lassen sich jedoch instrumententypische Aufbereitungsfehler wie Ledge-, Zip- und Elbow-Formationen leichter feststellen. Ebenfalls kann die Aufbereitungslänge, die Verblockung apikaler Foramina, die Aufbereitungszeit und die Häufigkeit von Instrumentenfrakturen evaluiert werden.

### 2.7.2. Materialabtrag

Für die Erhebung von Daten über die aufbereitungsbedingte Formveränderung eines Kanals werden analoge oder digitale Aufnahmen vor und nach einem Aufbereitungsdurchgang empfohlen (Dummer et al. 1989, Briseno 1992, Schäfer 1996). Durch Überlagerungs- oder Subtraktionsverfahren kann der Materialabtrag an den bearbeiteten Stellen gemessen werden. *Luiten* wendete ein Messverfahren an, bei dem an beiden Seiten des ursprünglichen Kanalverlaufs die durch die Aufbereitung erfolgte Erweiterung an festgelegten Messpunkten gemessen wurde (Luiten et al. 1995).

### 2.8. Statistische Auswertung

Experimentell erhobene Daten werden heute mit Computerprogrammen, wie SPSS [Statistical Package for the Social Sciences], zur statistischen Datenanalyse ausgewertet. Hiermit ist es möglich, deskriptive und analytische statistische Untersuchungen durchzuführen (Bühl & Zöfel 2000).

Bei intervallskalierten Messwerten ist entscheidend, ob die Werte der Normalverteilung folgen oder nicht. Je nach Verteilung ist als statistischer Kennwert der Mittelwert oder der Medianwert zur Anwendung statistischer Tests zu verwenden (Zöfel 2001). Die Verteilung kann grafisch mit Hilfe eines Histogramms überprüft werden. Ebenso können Kennwerte, die beispielsweise mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test errechnet werden, Angaben über eine Gaußsche Verteilung machen. In sehr vielen Publikationen werden Aussagen als signifikant angesehen, die eine Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ) von  $\leq 0,05$  aufweisen (Bühl & Zöfel 2000).

Liegen die Messwerte normalverteilt vor, erfolgt die weitere Auswertung mit dem parametrischen T-Test. Im anderen Fall wird der nichtparametrische U-Test nach Mann und Whitney angewendet (Zöfel 2001).

Zur Auswertung nominal oder ordinal skalierten Werte erfolgt die weitere statistische Auswertung mit dem Chi-Quadrat-Test. Bei tabellarischer Darstellung der Daten können zugleich die beobachteten und erwarteten Häufigkeiten für ein Merkmal ausgezählt werden. Wird für das standardisierte Residuum ein Wert  $\geq 2$  errechnet, liegt ein signifikanter Unterschied zwischen beobachteter und erwarteter Häufigkeit vor (Bühl & Zöfel 2000).

### 3. Zielsetzung

Es soll der Einfluss des Übungseffektes auf die Anwendungssicherheit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti-Feilen bei ungeübten Behandlern in der studentischen Ausbildung untersucht werden.

Zwei Gruppen von Studierenden sollen jeweils 5 gekrümmte artifizielle Kanäle manuell und 15 Kanäle maschinell aufbereiten. Gruppe A erlernt zuerst die manuelle Aufbereitungstechnik, Gruppe B die maschinelle Technik. Nach den Aufbereitungen sollen die Studierenden zu den beiden Techniken befragt werden. Um den Formerhalt des ursprünglichen Kanalverlaufs beurteilen zu können, sollen die Prüfkörper vor und nach der Aufbereitung digital planimetrisch erfasst werden. Mittels einer am PC durchgeführten Überlagerung der Aufnahmen sollen die Kanäle auf Formabweichungen wie Elbow, Zip und Ledge untersucht werden. Unter dem Auflichtmikroskop soll die Aufbereitungslänge und das apikale Foramen beurteilt werden.

Folgende 4 Hypothesen sollen geprüft werden:

1. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti-Feilen ermöglicht bei ungeübten Behandlern einen besseren Formerhalt des originären Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung mit Ni-Ti-Feilen.
2. Das Erlernen einer manuellen Aufbereitungstechnik vor Ausübung der maschinellen Kanalaufbereitung führt zu keiner Qualitätsverbesserung bei der maschinellen Kanalaufbereitung.
3. Als Übungseffekt von 5 maschinell aufbereiteten gekrümmten Wurzelkanälen verursachen ungeübte Behandler bei der Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen eine Frakturnrate von  $\leq 5\%$ .
4. Als Übungseffekt von 10 maschinell aufbereiteten gekrümmten Wurzelkanälen erreichen ungeübte Behandler bei der Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen eine Frakturnrate von  $\leq 2,5\%$ .



## 4. Material und Methode

### 4.1. Versuchsdesign

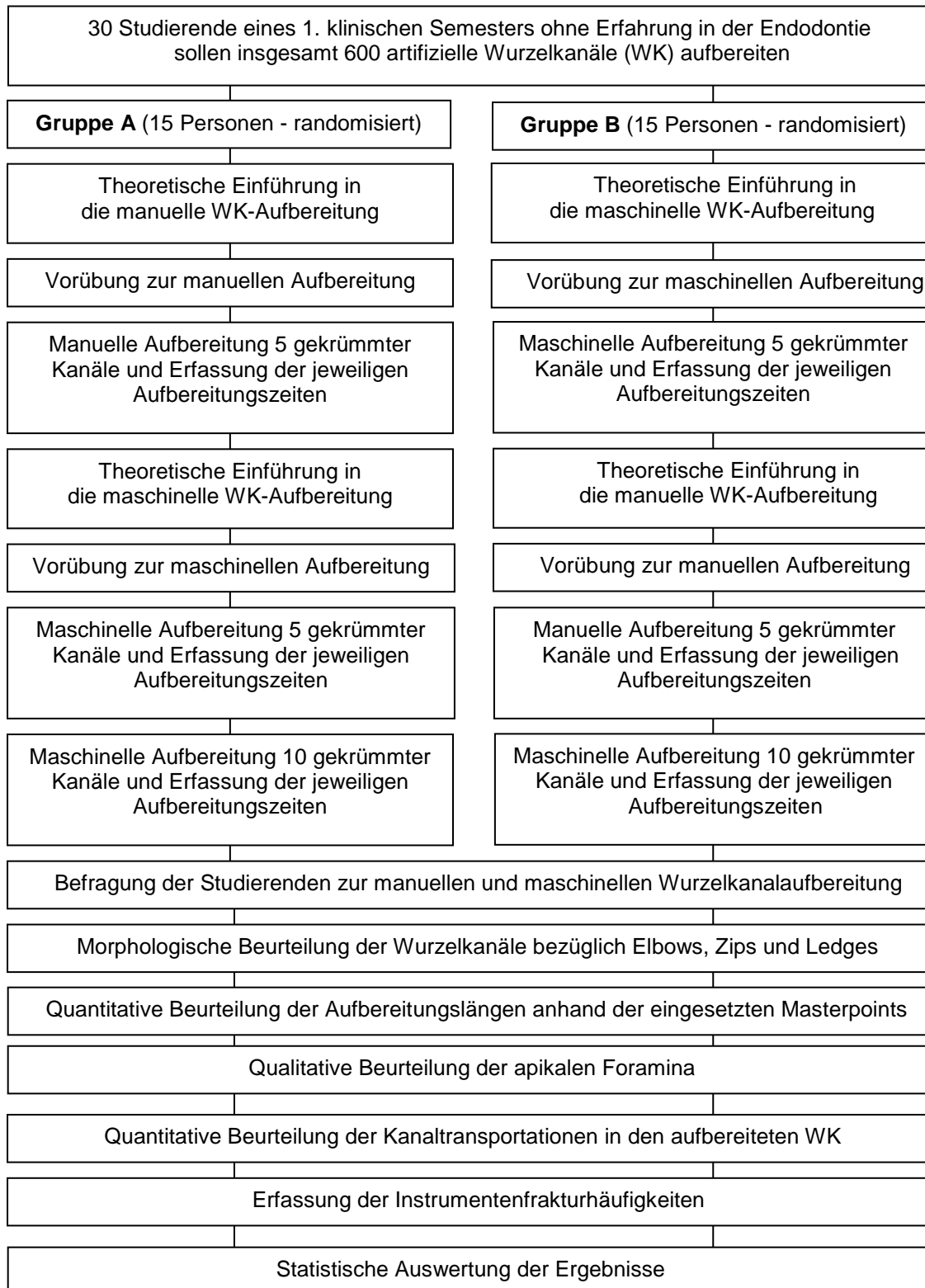


Abb. 8: Versuchsdesign

## 4.2. Instrumente zur Kanalaufbereitung

30 Studierende der Zahnmedizin des 6. Fachsemesters (Wintersemester 2001/2002) der Philipps-Universität Marburg ohne praktische Erfahrungen in der Wurzelkanalaufbereitung bereiteten 600 stark gekrümmte künstliche Wurzelkanäle<sup>1</sup> auf [Die verwendeten Materialien werden im folgenden mit hochgestellten Indizes gekennzeichnet; die Materialliste ist im Anhang aufgeführt]. Die Prüfkörper waren Epoxidharz-Blöckchen mit 19 mm langen Kanälen, wobei der gerade koronale Anteil 10 mm betrug und der gekrümmte apikale Anteil 9 mm. Die Epoxidharz-Blöckchen waren im Kanaleingangsbereich bis zu einer Tiefe von 5 mm konisch erweitert. Die Kanäle wiesen einen nach *Pruett* gemessenen Krümmungsradius von 5,5 mm (Pruett et al. 1997), bzw. einen nach der Methode von *Schneider* (Schneider 1971) gemessenen Winkel von 40° auf (Abb. 9).



Abb. 9: Bestimmung der Richtungsänderung des Kanalverlaufs nach Schneider („einfache Winkelmessung“)

Als manuelle Aufbereitungsinstrumente wurden 25 mm lange K-Feilen<sup>2</sup> aus Nickel-Titan in den ISO-Größen 15, 20, 25, 30, 35 und 40 eingesetzt. Alle manuellen Instrumente wiesen eine 2%ige Konizität entsprechend einem Taper von .02 auf. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung erfolgte mit 25 mm langen Nickel-Titan FlexMaster-Feilen<sup>3</sup> mit einer Konizität zwischen 2% und 6% entsprechend einem Taper von .02 bis .06.

<i>Größe</i>	<i>Konizität (Taper)</i>
ISO 15	.02
ISO 20	.02
ISO 25	.02
ISO 30	.02
ISO 35	.02
ISO 40	.02

*Tab. 2: Reihenfolge der Anwendung der manuellen Instrumente,  
25 mm lange K-Feilen aus Ni-Ti*

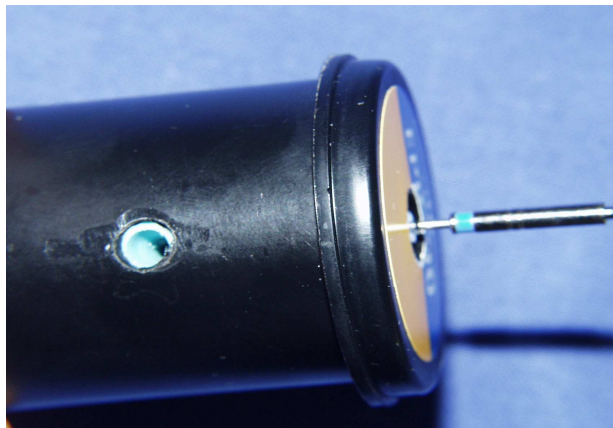
<i>ISO-Größe</i>	<i>Konizität (Taper)</i>
ISO 30	.06
ISO 25	.06
ISO 20	.06
ISO 30	.04
ISO 25	.04
ISO 20	.04
ISO 20	.02
ISO 25	.02
ISO 30	.02
ISO 35	.02
ISO 25	.04
ISO 30	.04

*Tab. 3: Reihenfolge der Anwendung der maschinellen Instrumente,  
25 mm lange FlexMaster-Feilen aus Ni-Ti*

### 4.3. Vorbehandlung der Kunststoffprobekörper

Am Kanaleingang wurden mit einem Diamant-Schleifer<sup>4</sup> zwei Kreuze in die Kunststoffprobekörper gefräst. Es folgte im Anschluss eine fortlaufende Gravur der Blöckchen von #1 bis #600. Die Ziffern wurden mit einem wasserfesten schwarzen Filzschreiber nachgezogen. Anschließend wurde mit einer Injektionskanüle der Farbstoff Methylenblau<sup>5</sup> in den Wurzelkanal injiziert.

Silikon-Abformmaterial<sup>6</sup> wurde manuell angemischt und in eine schwarze handelsübliche Foto-Filmdose eingebracht. Das Endo-Blöckchen wurde in die Dose gepresst und der Überschuss entfernt. Die Filmdose wurde anschließend mit einem Deckel verschlossen. Nach Aushärtung des Silikons wurde das Blöckchen wieder entfernt. In den Deckel wurde eine zentrale Öffnung gefräst. In die Filmdose wurde in Höhe des apikalen Foramens eine laterale Öffnung gebohrt (Abb. 10, 11). Die Funktionsfähigkeit des Modells wurde überprüft, indem der Kanal durch die zentrale Öffnung der Filmdose gespült wurde. Die Spülflüssigkeit musste zur Bestätigung der Funktionsfähigkeit an der lateralen Perforation wieder austreten.



*Abb. 10: Präparierte Filmdose mit zentraler und lateraler Perforation.*

*In Silikon eingebettet liegt der Prüfkörper mit dem artifiziellen Wurzelkanal, dessen Bearbeitung verblindet, d.h. ohne visuelle Kontrolle, erfolgen muss.*



*Abb. 11: Präparierte Filmdose im Querschnitt mit einem Endo-Blockchen in situ und einem Wurzelkanalinstrument*

#### **4.4. Bilddokumentation der artifiziellen Wurzelkanäle**

Ein speziell hergestelltes Stativ<sup>7</sup> garantierte einen konstanten Abstand zwischen Kamera<sup>8</sup> und Endo-Blockchen (Abb. 12). Zur Erstellung der Fotos wurde der Makromodus der Kamera gewählt und 2 Vorsatzlinsen von insgesamt 7 Dioptrien vor das Objektiv geschraubt. Als Hintergrund diente Millimeterpapier. Die Aufnahmen wurden auf einer Chip-Karte<sup>9</sup> im JPG-Format gespeichert. Die Pixel-Auflösung der Aufnahmen betrug ungefähr 1300 x 1700 Pixel. Anschließend wurden die Daten in einen PC<sup>10</sup> eingelesen.

Nach der digitalen Reproduktion wurden die Kanäle mit 10 ml Wasser gespült und die Methylenblau-Lösung damit entfernt.



*Abb.12: Repräsentanten für standardisierte digitale Aufnahmen der Wurzelkanäle vor und nach der Aufbereitung*

### **4.5. Randomisierung**

Die nummerierten 600 Blöckchen wurden mit Hilfe eines im Internet zugänglichen Computerprogramms ([www.random.org](http://www.random.org)) virtuell in eine zufällige Reihenfolge gestellt. Die auf diese Weise generierte Zahlenkolonne wurde anschließend in 30 Gruppen mit jeweils 20 Zahlen unterteilt, wobei jede Gruppe einem der 30 Studienteilnehmer zugeordnet wurde. Weiterhin wurde die vom Zufallsgenerator gebildete Zahlenfolge genutzt, um die Reihenfolge festzulegen, in der die einzelnen Wurzelkanäle zu bearbeiten waren. Die so entstandenen Zuordnungen wurden in eine Codierungsliste aufgenommen, mit deren Hilfe von jedem Blöckchen auf den Studierenden, das Aufbereitungssystem sowie die laufende Aufbereitungsnummer geschlossen werden konnte.

Den Studierenden wurde ebenfalls eine Nummer zugewiesen, die mit Hilfe des oben genannten Programms in eine zufällige Reihenfolge gestellt wurde. Die mit den ersten 15 Ziffern codierten Personen wurden der Behandlergruppe A zugeordnet, die anderen Behandler bildeten die Gruppe B. Die Codierungslisten verblieben beim Studienleiter.

## 4.6. Versuchsablauf

Vor der erstmaligen Anwendung des manuellen bzw. des maschinellen Systems erhielten die Studierenden eine mehrstündige theoretische Einführung und eine praktische Demonstration der Arbeitsweise (Abb. 5 in 4.1.). Als Vorübung bereiteten die Studierenden einen Kanal auf, um die jeweilige Technik zu trainieren. Zur Aufbereitung erhielten die Probanden immer nur 1 Endo-Blöckchen und erst nach Abgabe des aufbereiteten Kanals ein weiteres Blöckchen zur Bearbeitung. Traten während der manuellen oder der maschinellen Aufbereitung Instrumentenfrakturen auf, wurden die frakturierten Instrumente gegen neue Instrumente ausgetauscht. Dokumentiert wurden die ISO-Größe, die Konizität und die Häufigkeit der Anwendung einer Feile.

### 4.6.1. Manuelle Aufbereitung

Für die manuelle Aufbereitung erhielten die Studierenden jeweils 6 Instrumente in den Größen ISO 15 bis ISO 40.

<i>ISO-Größe</i>	<i>Konizität (Taper)</i>	<i>Arbeitslänge</i>
ISO 15	.02	18 mm
ISO 20	.02	18 mm
ISO 25	.02	18 mm
ISO 30	.02	18 mm
ISO 35	.02	18 mm
ISO 40	.02	17 mm

*Tab.4: Reihenfolge und Arbeitslänge der manuellen Instrumente*

Als erster Schritt der Aufbereitung erfolgte im oberen Kanaldrittel eine Erweiterung des Kanaleingangsbereiches (Preflare) mit Gates-Glidden-Bohrern<sup>11</sup> in absteigender Größe. Die weitere Aufbereitung erfolgte mit 25 mm langen manuellen Nickel-Titan K-Feilen<sup>2</sup>. Die Feilen wurden jeweils mit einer achtel bis viertel Rotation drehend-schabend in der so genannten watch winding Bewegung verwendet. Die Arbeitslänge jedes Instrumentes wurde von

dem Behandler mit Gummistoppfern vor Behandlungsbeginn eingestellt und im Verlauf der Behandlung überprüft. Das Instrument der ISO-Größe 15/.02 wurde als erstes in den Kanal auf vollständige Arbeitslänge mit 18 mm eingeführt. Damit wies die Arbeitslänge eine Distanz von 1 mm zum Foramen apikale auf. Die apikale Erweiterung des Kanals erfolgte im Weiteren mit den Instrumenten ISO 20/.02, ISO 25/.02, ISO 30/.02 und ISO 35/.02. Anschließend wurde der Kanal mit einer Feile der Größe ISO 40/.02 und der Arbeitslänge von 17 mm im Sinne eines Step-back erweitert. Zwischen den Arbeitsgängen konnte mit einer zuvor benutzten kleineren Feile rekapituliert werden. Zusätzlich wurden die Kanäle nach jedem Instrumentenwechsel mit jeweils 1,5 ml Wasser gespült. Ein Guttapercha-Stift<sup>12</sup> der Größe ISO 35/.02 wurde auf die aufbereitete Länge eines Kanals gekürzt. Mit einer Pinzette wurde der Masterpoint bis zum apikalen Stopp geschoben.

#### **4.6.2. Maschinelle Aufbereitung**

Für die maschinelle Aufbereitung wurde den Studierenden ein fabrikneuer Satz maschineller Instrumente<sup>3</sup> ausgehändigt (Tab. 5 Seite 27). Zusätzlich erhielten die Studierenden einen Motor<sup>13</sup> mit individuell auf die Instrumente abgestimmtem Drehmoment. Die Feilen wurden mit 280 Umdrehungen pro Minute eingesetzt.



<i>ISO-Größe</i>	<i>Konizität (Taper)</i>	<i>Arbeitslänge</i>
ISO 30	.06	< 18 mm
ISO 25	.06	< 18 mm
ISO 20	.06	< 18 mm
ISO 30	.04	< 18 mm
ISO 25	.04	< 18 mm
ISO 20	.04	< 18 mm
ISO 20	.02	18 mm
ISO 25	.02	18 mm
ISO 30	.02	18 mm
ISO 35	.02	18 mm
ISO 25	.04	18 mm
ISO 30	.04	18 mm

*Tab. 5: Reihenfolge und Arbeitslänge der maschinellen Instrumente des FlexMaster-Sets*

Zunächst erfolgte ebenfalls eine Kanaleingangsdarstellung mit den oben genannten Gates-Glidden-Bohrern<sup>11</sup> im oberen Kanaldrittel. Danach wurden die FlexMaster-Feilen in der Crown-down-Technik eingesetzt. Die Instrumente wurden in der in Tabelle 5 beschriebenen Reihenfolge eingesetzt. Das Instrument der Größe ISO 20/.02 erreichte als erstes die Arbeitslänge von 18 mm. Mit den nachfolgenden Instrumenten wurde das apikale Drittel erweitert. Bevor eine Feile in einem Kanal zur Anwendung kam, wurde die Instrumentenspitze mit einer geringen Menge eines Gleitmittels<sup>14</sup> beschickt. Der apikalwärts ausgeübte Druck bei der Aufbereitung war vergleichbar dem Druck beim Schreiben mit einem Bleistift. Die Feilen wurden nicht länger als 10 Sekunden aktiv apikalwärts im Kanal betrieben. Zwischen jedem Instrumentenwechsel erfolgte ein Spülvorgang mit 1,5 ml Wasser. Nach abgeschlossener Wurzelkanalaufbereitung wurde ein auf korrekte Länge gekürzter Guttapercha-Stift<sup>12</sup> wie bei der manuellen Aufbereitung eingebracht.

#### **4.7. Zeitmessung der Aufbereitung**

Die für die Aufbereitung benötigte Zeit wurde nach jeder abgeschlossenen Aufbereitung von den Studierenden notiert. Die folgenden Arbeitsschritte wurden in die Aufbereitungszeit eingerechnet:

1. Instrumentenwechsel
2. Spülvorgänge
3. Rekapitulationen
4. Einsetzen des Masterpoints
5. Anwendung von Glyde (bei der maschinellen Technik)

Bei beiden Techniken wurde die koronale Erweiterung mit den Gates-Glidden-Bohrern nicht berücksichtigt.

#### **4.8. Befragung der Studierenden**

Im Anschluss an die manuelle und maschinelle Wurzelkanalaufbereitung füllten die Studierenden anonym zwei Fragebögen zur manuellen und maschinellen Aufbereitung aus.

##### **Fragebogen zu den Wurzelkanalaufbereitungssystemen:**

I]

Welche Aufbereitungsart erschien Ihnen einfacher zu erlernen?

- ☐ ( ) Manuelle Aufbereitung
- ☐ ( ) Maschinelle Aufbereitung
- ☐ ( ) Beide Systeme gleich

II]

Bei welchem System fühlten Sie sich sicherer in der Anwendung?

- ☐ ( ) Manuelle Aufbereitung
- ☐ ( ) Maschinelle Aufbereitung
- ☐ ( ) Beide Systeme gleich

III]

Welche Art der Aufbereitung würden Sie sich als Schwerpunkt Ihrer Ausbildung wünschen?

- ☐ ( ) Manuelle Aufbereitung
- ☐ ( ) Maschinelle Aufbereitung
- ☐ ( ) Beide Systeme gleich

#### **4.9. Bilddokumentation der aufbereiteten Wurzelkanäle**

Der Guttapercha-Stift wurde aus dem Kanal des Endo-Blöckchens für die digitale Aufnahme entfernt. Aus den eingefrästen Nummern der Endo-Blöckchen wurde der schwarze Farbstoff mit 98%igem Alkohol<sup>15</sup> entfernt. Es erfolgte keine Farbstoff-Penetration des Kanals vor der Aufnahme. Das Endo-Blöckchen wurde im Reproständer für standardisierte Aufnahmen vor einem schwarzen Hintergrund fixiert und digital erfasst. Resultat war eine zu der digitalen Erfassung vor der Aufbereitung kontrastreiche Aufnahme der aufbereiteten Wurzelkanäle. Die Aufnahmen wurden auf einer Chip-Karte im JPG-Format gespeichert und anschließend in einen Computer übertragen. Der Guttapercha-Stift wurde anschließend zur Bestimmung der Aufbereitungslänge mit dem Mikroskop wieder eingesetzt.

#### **4.10. Beurteilung der Kanalmorphologie**

Bei 32facher Vergrößerung erfolgte die Befundung der Kanäle bezüglich morphologischer Veränderungen anhand der digitalen Reproduktionsaufnahmen mit Hilfe eines Programms zur Bildbetrachtung<sup>16</sup>. Folgende Aufbereitungsfehler wurden erfasst (Abb.1, 2, 3 in 2.2.3. Seite 7):

1. Elbow
2. Zip
3. Ledge

#### **4.11. Beurteilung der Aufbereitungslänge**

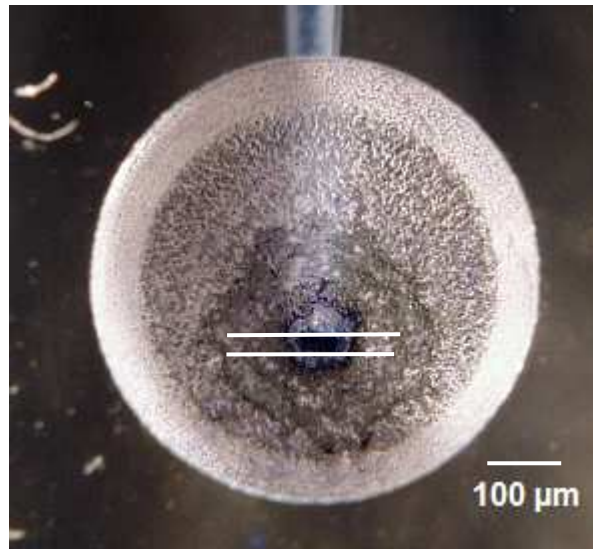
Unter einem Auflichtmikroskop<sup>17</sup> wurden bei 20facher Vergrößerung die Aufbereitungslänge der Wurzelkanäle anhand der in die Kanäle eingesetzten Masterpoints untersucht. Im Okular des Mikroskops waren Skalierungen vorhanden, die eine Messung des Abstandes der Masterpoint-Spitze zum Foramen apikale in Millimetern ermöglichte. 17,5 Teilstriche entsprachen 1 mm. Die Aufbereitungslänge wurde in drei Kategorien eingeordnet:

- I. Masterpoint hat korrekte Länge: 0–2 mm koronal des apikalen Foramens
- II. Masterpoint ist zu kurz: > 2 mm koronal des apikalen Foramens
- III. Masterpoint ist zu lang: über das apikale Foramen hinaus reichend.

#### **4.12. Beurteilung des apikalen Foramens**

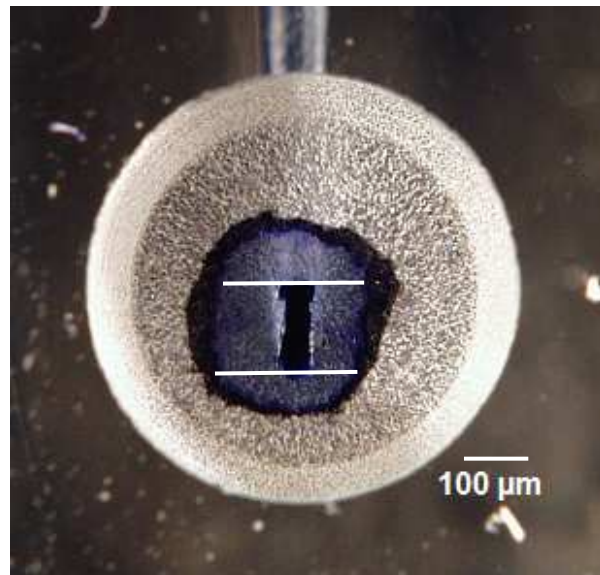
Es wurde vor der Aufbereitung der vertikale Durchmesser von 20 apikalen Foramina unter einem Auflichtmikroskop bei 40facher Vergrößerung ermittelt. Der statistische Mittelwert betrug 28 µm bei einer Standardabweichung von  $s = \pm 4 \mu\text{m}$ . Das apikale Foramen wurde nach der Wurzelkanalaufbereitung unter dem Auflichtmikroskop bei 40facher Vergrößerung in drei Klassen eingeordnet. 1 Teilstrich entsprach 33 µm.

- I. Apikales Foramen ist unversehrt (Abb. 13): Durchmesser < 33 µm
- II. Apikales Foramen ist bearbeitet (Abb. 14): Durchmesser  $\geq 33 \mu\text{m}$
- III. Apikales Foramen ist nicht mehr durchgängig (Abb. 15)



*Abb. 13: Foramen ist unversehrt.*

*(Die beiden horizontalen Balken markieren  
den vertikalen Durchmesser des Foramens  
mit  $x < 33 \mu\text{m}$ )*



*Abb. 14: Foramen ist deutlich erweitert.*

*(Die beiden horizontalen Balken markieren  
den vertikalen Durchmesser des Foramens  
mit  $x = 132 \mu\text{m}$ )*

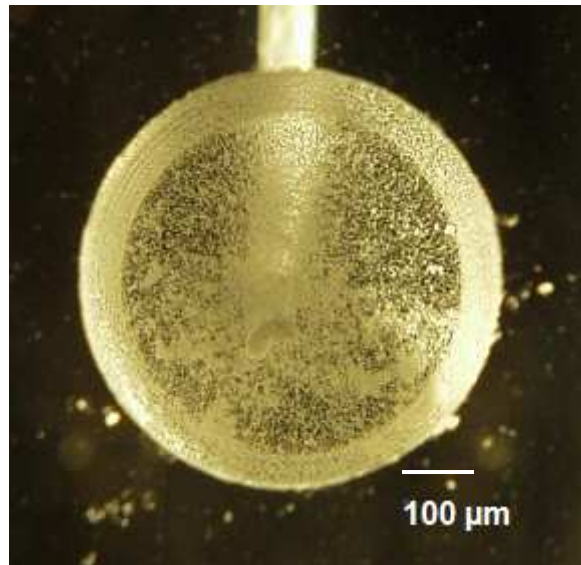
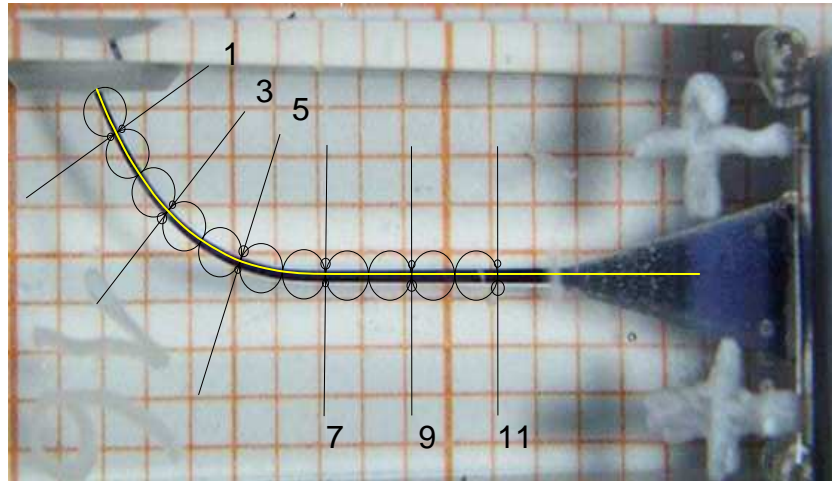


Abb. 15: Foramen ist verblockt.

#### 4.13. Bildüberlagerungen am PC

Es wurde vor der Aufbereitung der Wurzelkanäle eine Maske entworfen, die sechs standardisierte Messpunkte im Kanalverlauf festlegte, der dem unbearbeiteten Kanalverlauf entsprach. Der 1. Messpunkt befand sich 1 mm koronal des apikalen Foramens, die anderen Messpunkte folgten jeweils in einem Abstand von 2 mm (Abb. 16). Mit einem Bildbearbeitungsprogramm<sup>18</sup> wurde die Aufnahme eines Kanals vor der Aufbereitung mit der entsprechenden Aufnahme eines Kanals nach der Aufbereitung überlagert. Als Orientierungspunkte dienten bei der Überlagerung die eingefrästen Kreuze und die eingravierten Nummern eines Blöckchens. Um eine möglichst deckungsgleiche Überlagerung zu erzielen, konnten die Bilder bei Bedarf um wenige Grad gedreht werden. Im Anschluss wurde die entworfene Maske mit einem Bildbearbeitungsprogramm<sup>18</sup> auf die überlagerten Aufnahmen der Blöckchen gelegt. Für jeden Kanal waren somit sechs Messpunkte an den jeweils gleichen Stellen definiert.



*Abb. 16: Bild des Wurzelkanals vor Aufbereitung (gefüllt mit Farbstoff zur Kontrastierung) mit der Maske der 6 Messpunkte. (angegeben sind die Distanzen der 6 Messpunkte zum Foramen in mm:*

*1 = 1. Messpunkt mit 1 mm Distanz zum Foramen*

*3 = 2. Messpunkt mit 3 mm Distanz zum Foramen*

*5 = 3. Messpunkt mit 5 mm Distanz zum Foramen*

*7 = 4. Messpunkt mit 7 mm Distanz zum Foramen*

*9 = 5. Messpunkt mit 9 mm Distanz zum Foramen*

*11 = 6. Messpunkt mit 11 mm Distanz zum Foramen)*

#### **4.14. Beurteilung der Transportation**

Die festgelegten Messpunkte eines Kanals befanden sich 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm und 11 mm koronal des apikalen Foramens. Für die Messung des durch die Wurzelkanalaufbereitung entstandenen Materialabtrags wurde die Linealfunktion von Adobe Photoshop<sup>18</sup> ausgewählt. Bei 32facher Vergrößerung konnte der Materialabtrag an der Innen- und Außenseite des aufbereiteten Kanals gemessen werden. Die Transportation wurde nach dem von *Luiten et al.* vorgestelltem Verfahren gemessen (Luiten et al. 1995). Als transportiert wurde ein Kanal definiert, wenn der Materialabtrag an mindestens einem Messpunkt auf der Innen- oder Außenseite die Weite der gegenüberliegenden Seite mindestens um den Faktor 3 überschritt. Dieser Faktor wurde nach Eingabe aller Daten rechnerisch mit dem Programm Excel, Office 2000<sup>19</sup> ermittelt.



#### **4.15. Auswertung der Instrumentenfrakturen**

Alle frakturierten Instrumente wurden bei 20facher Vergrößerung mit dem Auflichtmikroskop untersucht. Der Abstand der Bruchstelle von der Instrumentenspitze wurde festgehalten. Zusätzlich wurden ISO-Größe und Konizität der Instrumente notiert.

#### **4.16. Statistische Auswertung**

Die Messdaten wurden in das Statistikprogramm SPSS 11.0<sup>20</sup> eingegeben und zunächst auf Plausibilität überprüft. Statistisch getestet wurde:

- 1.] die manuelle gegen die maschinelle Aufbereitung (zusammengefasst aus den Gruppen A und B)
- 2.] die Aufbereitungsergebnisse der Gruppe A gegen die Gruppe B für die rotierende Aufbereitung.

Zunächst wurden die Messdaten der intervallskalierten Werte (Transportation des Kanalverlaufs und Aufbereitungszeit) mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Lag keine Normalverteilung vor, erfolgte die weitere Auswertung mit dem nichtparametrischen U-Test nach Mann und Whitney. Der parametrische T-Test zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben wurde angewendet, wenn eine Normalverteilung vorlag.

Bei Auswertung der nominal bzw. ordinal skalierten Werte (morphologische Abweichungen, Aufbereitungslänge, apikales Foramen) wurde der Chi-Quadrat-Test angewendet. Konnte mittels Chi-Quadrat-Test ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, erfolgte eine Spezifizierung der Einzelwerte durch die standardisierten Residuen.

In den Daten aufgefundene Unterschiede wurden dann als signifikant bezeichnet, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit bei  $\leq 5\%$  lag.

Bei festgestellten Unterschieden in den Daten wurde von den in Tab. 6 dargestellten Irrtumswahrscheinlichkeiten mit den entsprechenden Bedeutungen und Symbolisierungen ausgegangen.

<i>Irrtums- wahrscheinlichkeit</i>	<i>Signifikanz</i>	<i>Bedeutung</i>
$p > 0,05$	ns	nicht signifikant
$p \leq 0,05$	*	signifikant
$p \leq 0,01$	**	sehr signifikant
$p \leq 0,001$	***	höchst signifikant

Tab. 6: Bedeutung der Symbolisierung und der Irrtumswahrscheinlichkeit

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Vergleich der manuellen und maschinellen Aufbereitung

#### 5.1.1. Kanalmorphologie

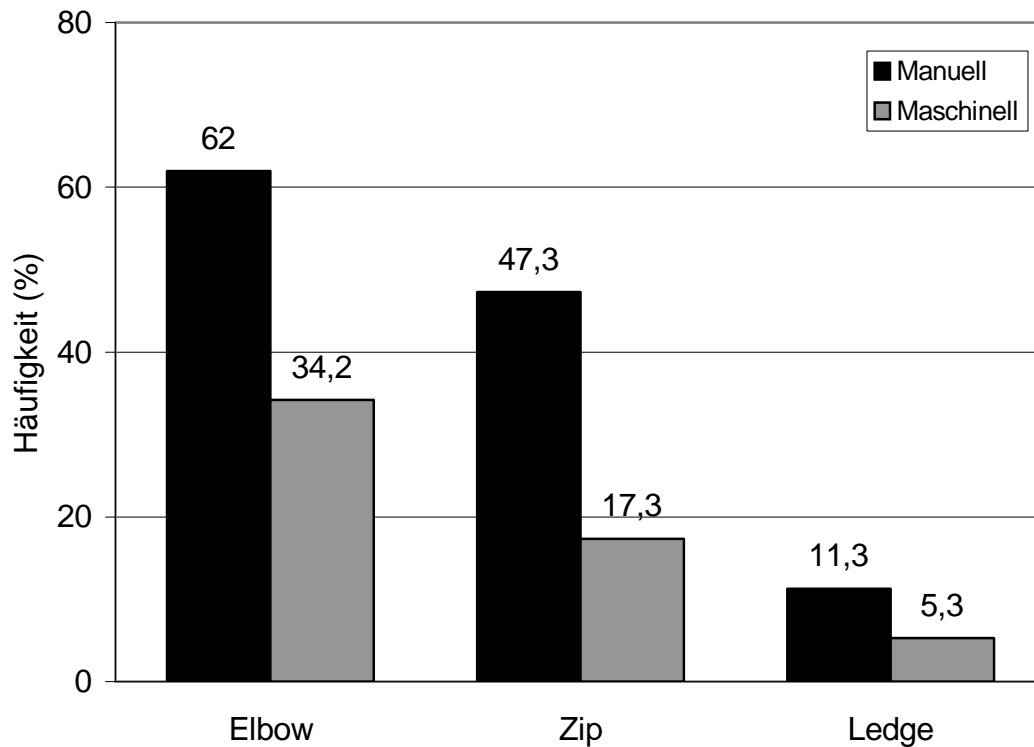


Abb. 17: Prozentuale Verteilung von Elbow-, Zip- und Legde- Konfigurationen bei der manuellen und maschinellen Wurzelkanalaufbereitung

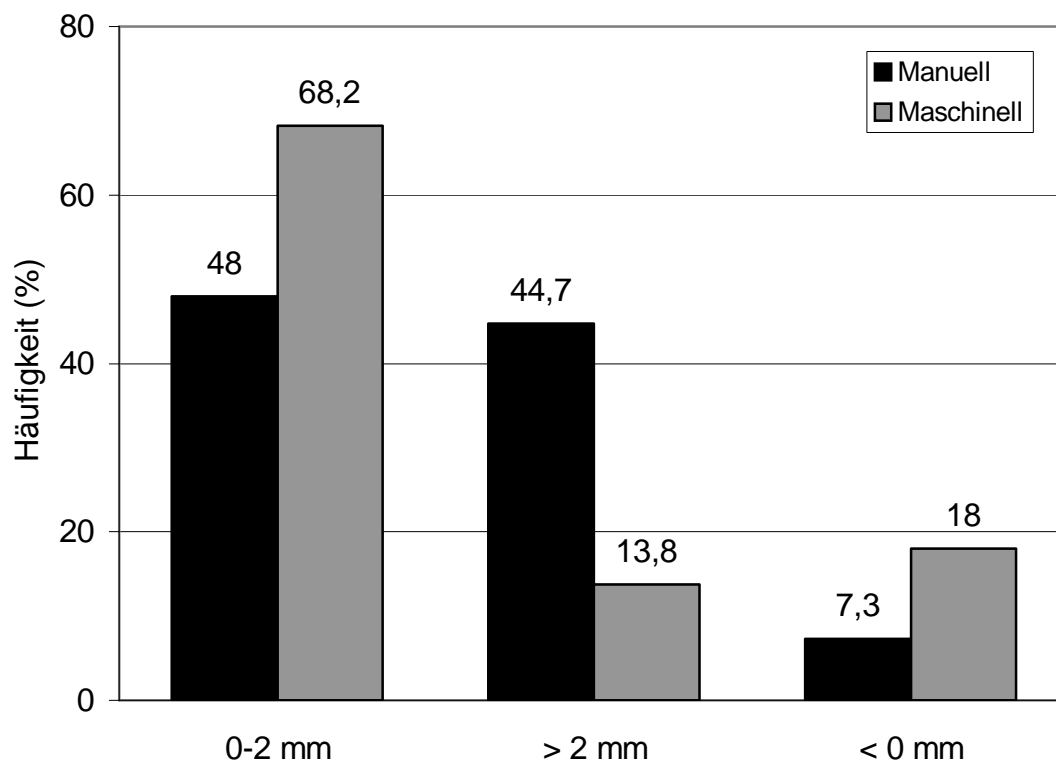
Bei der manuellen Aufbereitung treten bei 62% der Kanäle und bei 34,2% der maschinell aufbereiteten Kanäle Elbows auf. Dieser Unterschied ist höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Bei der manuellen Aufbereitung treten bei 47,3% der Kanäle und bei 17,3% der maschinell aufbereiteten Kanäle Zips auf. Dieser Unterschied ist höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Bei der manuellen Aufbereitung treten bei 11,3% der Kanäle und bei 5,3% der maschinell aufbereiteten Kanäle Ledges auf. Dieser Unterschied ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Art des Aufbereitungsfehlers	Irrtumswahrscheinlichkeit	Signifikanz
Elbow	$p \leq 0,001$	***
Zip	$p \leq 0,001$	***
Ledge	$p \leq 0,05$	*

Tab. 7: Signifikante Unterschiede bezüglich der Aufbereitungsfehler nach manueller bzw. maschineller Aufbereitung



### 5.1.2. Aufbereitungslänge

Abb. 18: Verteilung der Aufbereitungslänge in 3 Kategorien nach der

#### *Distanz des Masterpoints zum Foramen apikale*

Nach manueller Aufbereitung weisen 48% der Masterpoints eine korrekte Distanz zum Foramen apikale auf. Nach maschineller Bearbeitung der Kanäle weisen hingegen 68,2% der Masterpoints die gewünschte Distanz zum Foramen apikale auf (0-2 mm). Dieser Unterschied ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Nach manueller Aufbereitung ist bei 44,7% der Masterpoints die Distanz zum Foramen apikale zu groß ( $> 2$  mm), nach maschineller Aufbereitung bei 13,8% der Masterpoints. Dies entspricht einem höchst signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,001$ ).

Nach manueller Aufbereitung sind 7,3% der Kanäle überstopft ( $< 0$  mm zum Foramen apikale), bei der maschinellen Aufbereitung 18% der Kanäle. Der Unterschied ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

#### **5.1.3. Zustand des apikalen Foramens**

Ein unversehrtes apikales Foramen findet sich bei 25,3% der manuell aufbereiteten Kanäle und bei 28% der maschinell aufbereiteten Kanäle. Der Durchmesser des Foramens ist bei 36% der manuell bearbeiteten Kanäle durch mechanische Bearbeitung erweitert und bei 30% der maschinell aufbereiteten Kanäle. Diese Unterschiede sind nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

38,7% der manuell aufbereiteten Kanäle und 42% der maschinell aufbereiteten Kanäle sind verblockt. Dieser Unterschied ist ebenfalls nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

#### 5.1.4. Transportation der Kanäle

Die Daten werden in Bezug auf die 1. Hypothese untersucht. Sie lautet:

1. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti-Feilen ermöglicht bei ungeübten Behandlern einen besseren Formerhalt des originären Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung mit Ni-Ti-Feilen.

Am 1. Messpunkt (1 mm Distanz zum Foramen) sind nach manueller Aufbereitung 47,5% und nach maschineller Aufbereitung 29,3% der Kanäle zur großen Krümmung hin transportiert. Dieser Unterschied ist höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Am 2. Messpunkt (3 mm Distanz zum Foramen) sind 41,5% der Kanäle nach manueller Aufbereitung und nach maschineller Aufbereitung 29,3% der Kanäle zur großen Krümmung hin transportiert. Dieser Unterschied ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Am 3. Messpunkt (5 mm Distanz zum Foramen) sind 33,8% der manuell aufbereiteten Kanäle und 12,8% der maschinell aufbereiteten Kanäle zur kleinen Krümmung hin transportiert. Dieser Unterschied ist höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Am 4. Messpunkt (7 mm Distanz zum Foramen) zeigen 74,3% der manuell aufbereiteten Kanäle eine Transportation zur kleinen Krümmung hin, nach maschineller Aufbereitung 49,5% der Kanäle. Dieser Unterschied ist sehr signifikant ( $p \leq 0,01$ ).

Am 5. Messpunkt (9 mm Distanz zum Foramen) kann kein signifikanter Unterschied bei der Transportation der Kanäle nach manueller bzw. maschineller Aufbereitung festgestellt werden ( $p > 0,05$ ).

Am 6. Messpunkt (11 mm Distanz zum Foramen) zeigen 23,6% der manuell aufbereiteten Kanäle eine Transportation zur großen Krümmung hin und 13,3% der maschinell aufbereiteten Kanäle. Dieser Unterschied ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

<i>Laufende Messpkt. Nr.</i>	<i>Distanz Messpunkt- Foramen</i>	<i>Transportierte Kanäle nach man. Präp.</i>	<i>Transportierte Kanäle nach masch. Präp.</i>	<i>Irrtumswahr- scheinlichkeit u. Signifikanz</i>
1.	1 mm	47,5%	29,3%	$p \leq 0,001$ ***
2.	3 mm	41,5%	29,3%	$p \leq 0,05$ *
3.	5 mm	33,8%	12,8%	$p \leq 0,001$ ***
4.	7 mm	74,3%	49,5%	$p \leq 0,01$ **
5.	9 mm	13,5%	9,9%	$p > 0,05$ ns
6.	11 mm	23,6%	13,3%	$p \leq 0,05$ *

*Tab. 8: Anteil der transportierten Kanäle nach manueller bzw. maschineller  
Aufbereitung*

*[KK = kleine Krümmung; GK = große Krümmung]*

## 5.1.5. Aufbereitungszeit

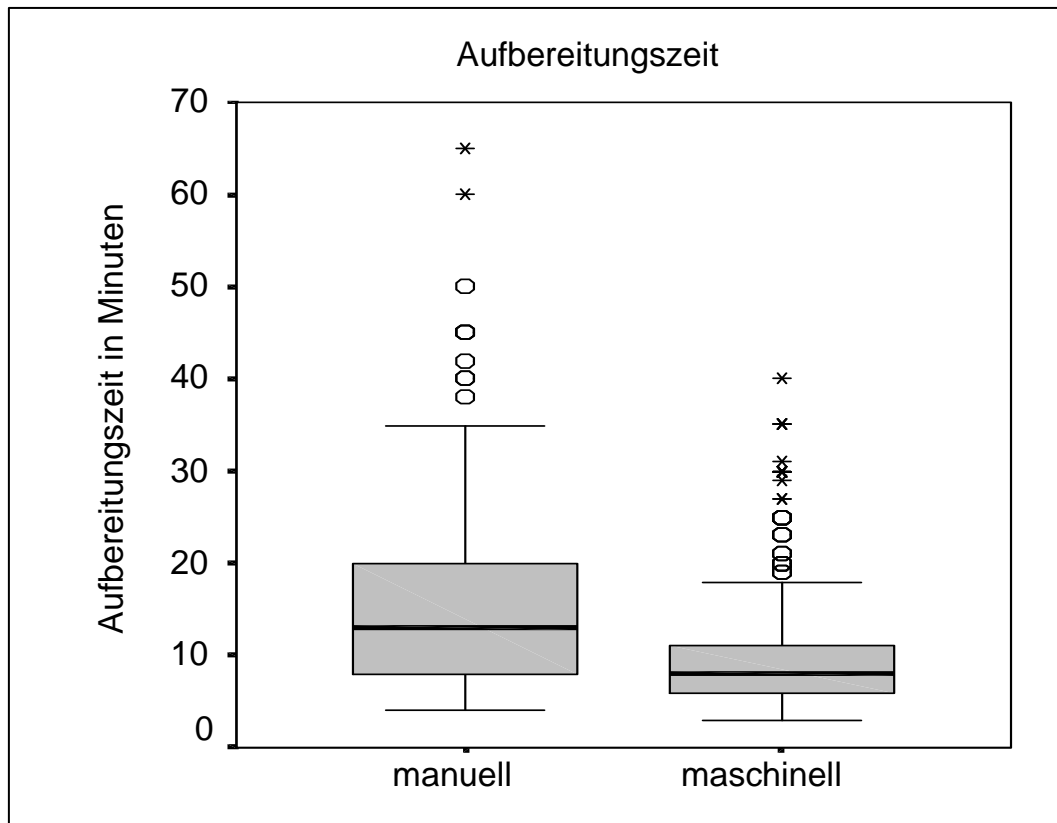


Abb. 19: Boxplots mit Darstellung der Medianwerte sowie der 1. und 3. Quartile für die manuelle und maschinelle Aufbereitungszeit (in Minuten)

Der Medianwert für die manuelle Aufbereitung liegt bei 13 Minuten, das 1. Quartil bei 8 Minuten und das 3. Quartil bei 20 Minuten.

Der Medianwert für die maschinelle Aufbereitung liegt bei 8 Minuten, das 1. Quartil bei 6 Minuten und das 3. Quartil bei 11 Minuten.

Die Ergebnisse unterscheiden sich höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).



#### **5.1.6. Auswertung der Befragung**

Keiner der Studierenden ist der Ansicht, dass die manuelle Aufbereitung einfacher zu erlernen sei als das maschinelle Verfahren. 60% der Studierenden sind der Ansicht, dass das maschinelle Aufbereitungssystem einfacher zu erlernen sei. 40% der Studierenden sind der Meinung, dass beide Systeme gleich einfach in der Anwendung seien.

10% der Studierenden fühlen sich bei der Aufbereitung mit manuellen Instrumenten sicherer als bei der maschinellen Aufbereitung. 83,3% der Studienteilnehmer geben ein größeres Sicherheitsgefühl bei der maschinellen Aufbereitung an. 6,7% der Studierenden fühlen sich bei der manuellen und maschinellen Aufbereitung gleich sicher in der Anwendung.

3,3% der Studienteilnehmer wünschen sich, dass die manuelle Aufbereitung als Ausbildungsschwerpunkt unterrichtet wird. 46,7% würden die maschinelle Aufbereitung als Schwerpunkt in der Ausbildung bevorzugen. Die Hälfte der Studierenden äußert den Wunsch, in der manuellen und maschinellen Aufbereitung gleichermaßen unterrichtet zu werden.

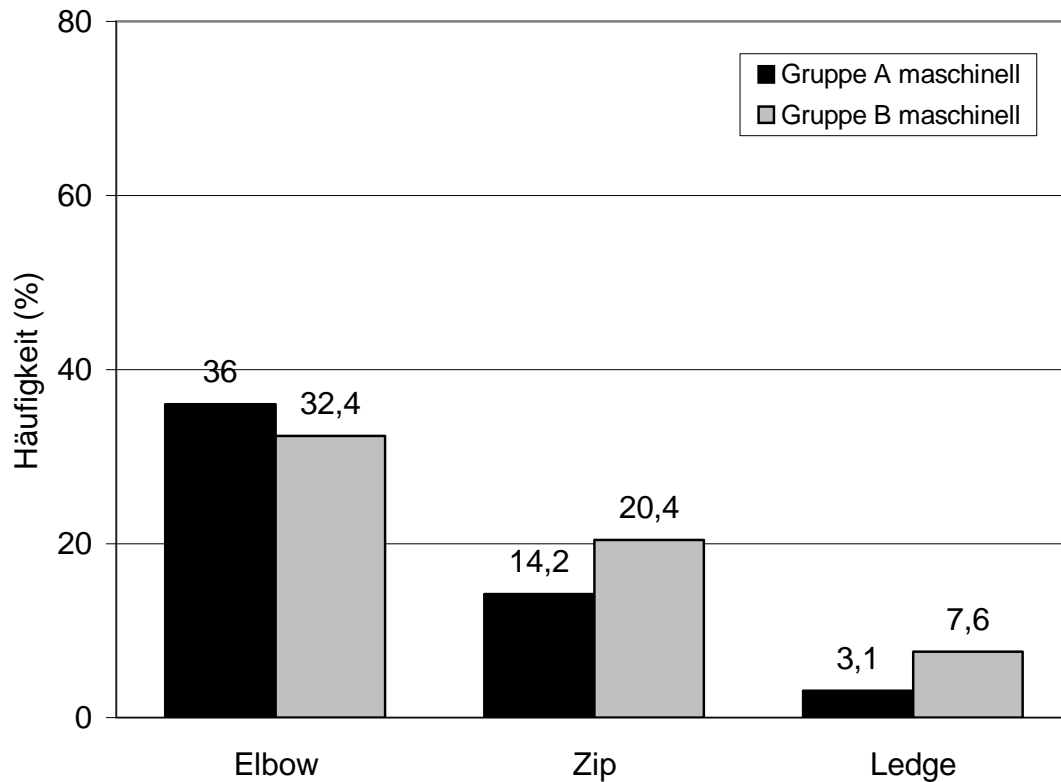
## **5.2. Vergleich der maschinellen Aufbereitungsergebnisse der Gruppen mit und ohne manuelle Vorübung**

Die folgenden Daten werden in Bezug auf die 2. Hypothese untersucht. Sie lautet:

2. Das Erlernen einer manuellen Aufbereitungstechnik vor Ausübung der maschinellen Kanalaufbereitung führt zu keiner Qualitätsverbesserung bei der maschinellen Kanalaufbereitung.

Gruppe A kann vor der maschinellen Aufbereitung Erfahrungen in der manuellen Aufbereitung sammeln, Gruppe B verfügt über keine endodontische Erfahrung vor der maschinellen Aufbereitung.

### 5.2.1. Kanalmorphologie



*Abb. 20: Aufbereitungsfehler der Gr. A u. B bei der maschinellen Aufbereitung*  
*Gruppe A verfügt über manuelle Aufbereitungserfahrung.*  
*Gruppe B verfügt über keine Aufbereitungserfahrung.*

Bei der maschinellen Aufbereitung treten bei 36% der von Gruppe A und bei 32,4% der von Gruppe B aufbereiteten Kanäle Elbows auf. Dieser Unterschied ist nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

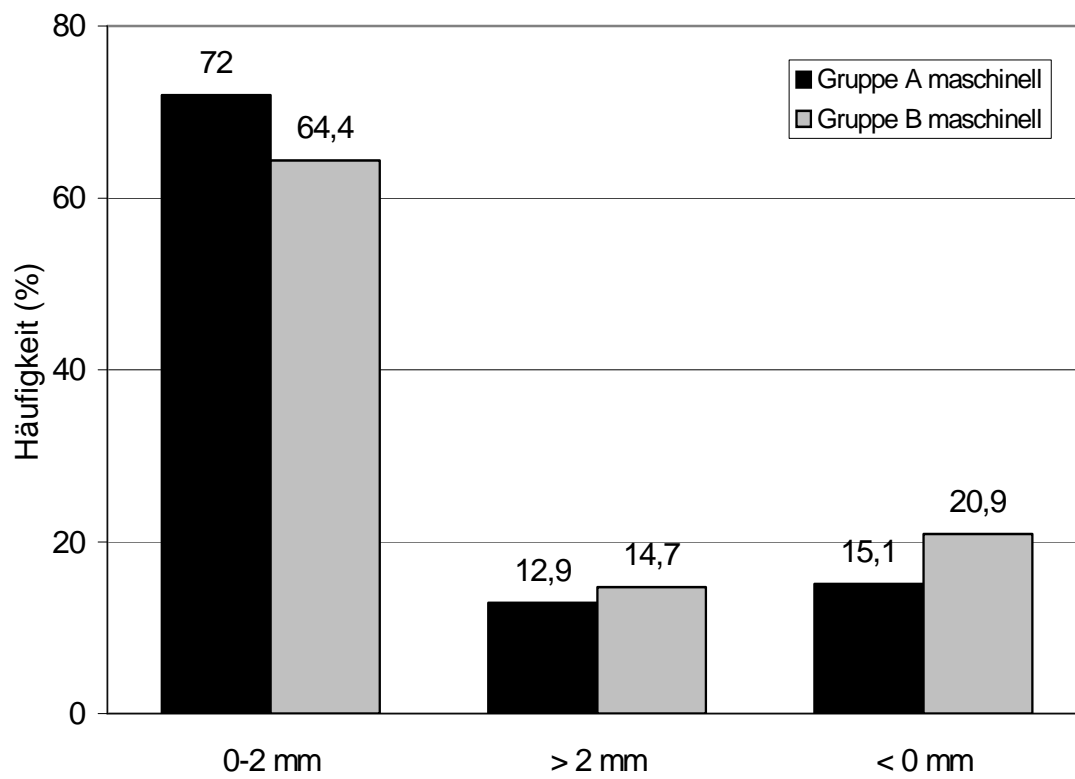
14,2% der von Gruppe A maschinell aufbereiteten Kanäle weisen Zip-Konfigurationen auf. Gruppe B produziert bei 20,4% der maschinell aufbereiteten Kanäle Zips. Es ist keine Signifikanz festzustellen ( $p > 0,05$ ).

Bei der maschinellen Aufbereitung treten bei Gruppe A 3,1% und bei Gruppe B 7,6% der bearbeiteten Kanäle Ledges auf. Dieser Unterschied ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

<i>Art des Aufbereitungsfehlers</i>	<i>Irrtums- wahrscheinlichkeit</i>	<i>Signifikanz</i>
Elbow	$p > 0,05$	ns
Zip	$p > 0,05$	ns
Ledge	$p \leq 0,05$	*

*Tab. 9: Signifikanzen bezüglich der Aufbereitungsfehler nach maschineller Aufbereitung der Gruppe A und Gruppe B*

## 5.2.2. Aufbereitungslänge



*Abb. 21: Distanz des Masterpoints zum Foramen apikale nach maschineller Aufbereitung im Vergleich der Gruppen A und B*  
*Gruppe A verfügt über manuelle Aufbereitungserfahrung.*  
*Gruppe B verfügt über keine Aufbereitungserfahrung.*

Bei Gruppe A erreichen nach maschineller Bearbeitung der Kanäle 72% der Masterpoints die gewünschte Distanz zum Foramen apikale (0-2 mm), bei Gruppe B nach maschineller Aufbereitung 64,4% der Kanäle. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Bei Gruppe A sind nach maschineller Bearbeitung der Kanäle 12.9% der Masterpoints zu kurz ( $> 2$  mm), bei Gruppe B sind es nach maschineller Aufbereitung 14,7% der Masterpoints. Auch dieser Unterschied ist nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Bei Gruppe A sind nach maschineller Aufbereitung 15,1% der Kanäle überstopft ( $< 0$  mm zum Foramen apikale), bei Gruppe B nach maschineller

Aufbereitung 20,9% der Kanäle. Der Unterschied ist ebenfalls nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

### 5.2.3. Zustand des apikalen Foramens

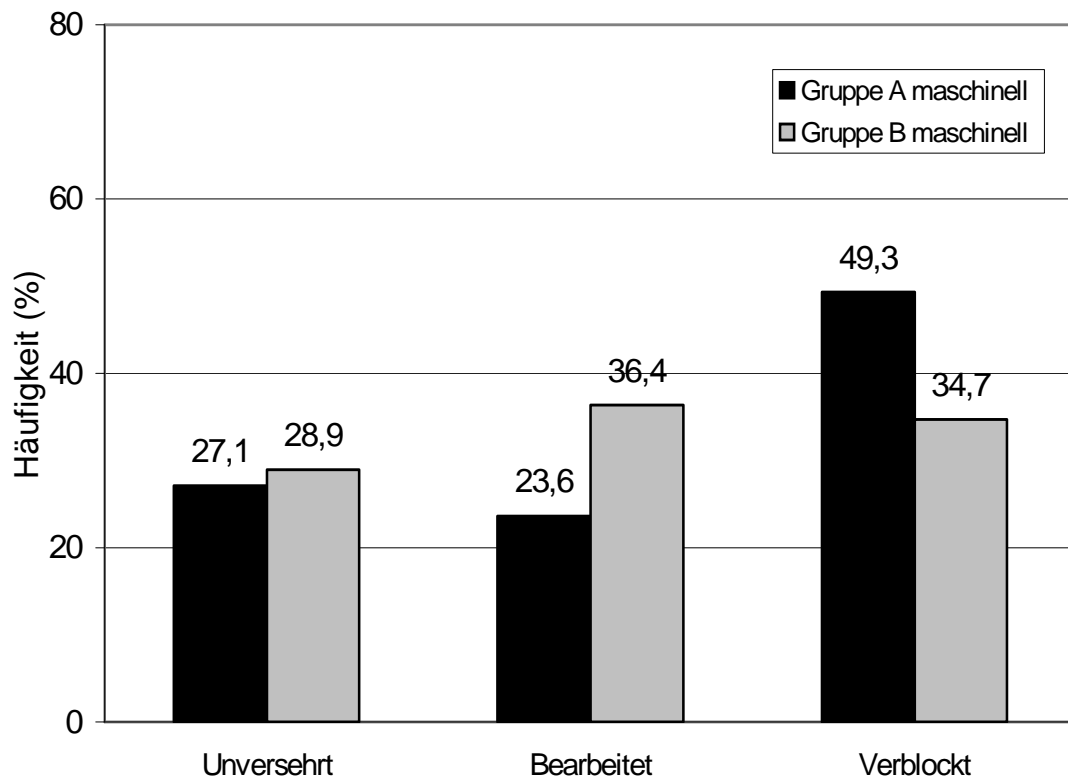


Abb. 22: Zustand des Foramens nach maschineller Aufbereitung im Vergleich der Gruppen A und B

Gruppe A verfügt über manuelle Aufbereitungserfahrung.

Gruppe B verfügt über keine Aufbereitungserfahrung.

Das Foramen ist bei 27,1% der von Gruppe A und bei 28,9% der von Gruppe B maschinell aufbereiteten Kanäle unversehrt.

Eine Bearbeitung des Foramens ist bei 23,6% der von Gruppe A und bei 36,4% der von Gruppe B maschinell bearbeiteten Wurzelkanäle festzustellen.

Das Foramen ist bei 49,3% der von Gruppe A und bei 34,7% der von Gruppe B maschinell aufbereiteten Kanäle nicht mehr durchlässig.

Die Unterschiede sind in allen 3 Kategorien nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

#### 5.2.4. Transportation der Kanäle

An allen sechs Messpunkten kann kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Transportation der Kanäle verzeichnet werden ( $p > 0,05$ ).

<i>Laufende Messpkt. Nr.</i>	<i>Distanz des Messpunktes zum Foramen</i>	<i>Transportierte Kanäle Gruppe A</i>	<i>Transportierte Kanäle Gruppe B</i>	<i>Irrtumswahr- scheinlichkeit u. Signifikanz</i>
1.	1 mm	25,3 %	18,7 %	$p > 0,05$ ns
2.	3 mm	35,2 %	30,6 %	$p > 0,05$ ns
3.	5 mm	13,8 %	17,3 %	$p > 0,05$ ns
4.	7 mm	51,4 %	52,0 %	$p > 0,05$ ns
5.	9 mm	9,4 %	5,3 %	$p > 0,05$ ns
6.	11 mm	13,2 %	8,0 %	$p > 0,05$ ns

*Tab. 10: Anteil der transportierten Kanäle nach maschineller Präparation  
mit und ohne manueller Vorübung*

## 5.2.5. Aufbereitungszeit

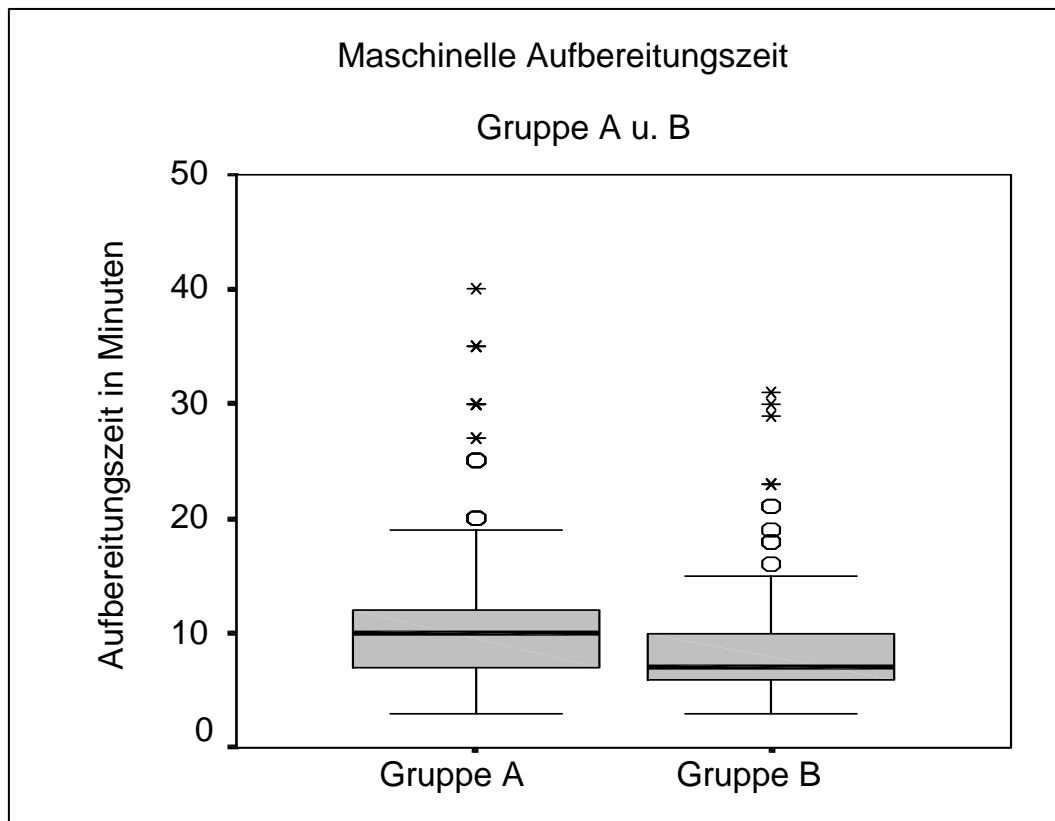


Abb. 23: Boxplots mit Darstellung der Medianwerte und der 1. und 3. Quartile für die maschinelle Aufbereitungszeit (in Minuten) der Gruppe A und Gruppe B  
 Gruppe A verfügt über manuelle Aufbereitungserfahrung.  
 Gruppe B verfügt über keine Aufbereitungserfahrung.

Bei Gruppe A liegt der Medianwert für die maschinelle Aufbereitung bei 10 Minuten, das 1. Quartil bei 7 Minuten und das 3. Quartil bei 12 Minuten. Der Medianwert liegt bei Gruppe B für die maschinelle Aufbereitung bei 7 Minuten, das 1. Quartil bei 6 Minuten und das 3. Quartil bei 10 Minuten. Die Unterschiede bei den Aufbereitungszeiten für die maschinelle Aufbereitung zwischen den Gruppen A und B sind höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).



### **5.3. Erfassung der Instrumentenfrakturen**

Die folgenden Daten werden in Bezug auf die 3. und 4. Hypothese untersucht. Sie lauten:

3. Als Übungseffekt von 5 maschinell aufbereiteten gekrümmten Wurzelkanälen verursachen ungeübte Behandler bei der Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen eine Frakturrate von  $\leq 5\%$ .
4. Als Übungseffekt von 10 maschinell aufbereiteten gekrümmten Wurzelkanälen erreichen ungeübte Behandler bei der Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen eine Frakturrate von  $\leq 2,5\%$ .

#### **5.3.1. Vergleich der Frakturaten bei den manuellen und den maschinellen Aufbereitungen**

Bei der manuellen Aufbereitung des 1. bis 5. Kanals treten 2 Instrumentenfrakturen auf. Die Frakturrate beträgt somit 1,3%.

Bei der maschinellen Aufbereitung des 1. bis 5. Wurzelkanals treten 3 Frakturen auf. Dies entspricht einer Frakturrate von 2%.

Bei der maschinellen Aufbereitung des 6. bis 10. Wurzelkanals liegt die Frakturrate bei 0,67%.

Bei der maschinellen Aufbereitung des 11. bis 15. Kanals erreichen die 30 Studierenden eine Frakturrate von 1,34%.

Bei der maschinellen Aufbereitung der Wurzelkanäle frakturiert bei insgesamt 6 Aufbereitungen ein Instrument. Insgesamt beträgt die Frakturrate bei der maschinellen Aufbereitung 1,3%.

Es ist insgesamt kein Unterschied bei der Frakturrate zwischen den manuellen und maschinellen Instrumenten festzustellen.

### **5.3.2. Vergleich der Frakturaten von Gruppe A und Gruppe B**

Bei der manuellen Aufbereitung von Gruppe A frakturiert kein Instrument. Bei 2,7% der von Gruppe B manuell aufbereiteten Kanäle kommt es zu einer Instrumentenfraktur. Die Unterschiede bei der Frakturrate der manuellen Instrumente zwischen Gruppe A und Gruppe B sind nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Die Frakturaten der maschinellen Instrumente unterscheiden sich zwischen den Gruppen A und B nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Bei 2,2% der von Gruppe A maschinell bearbeiteten Kanäle frakturiert ein Instrument, bei Gruppe B beträgt die Frakturrate der maschinellen Feilen 0,4%.

## 6. Diskussion

### 6.1. *Material und Methode*

#### 6.1.1. Auswahl der Feilen und der Schrittmotoren

Da die Anwendung von maschinellen Aufbereitungssystemen bisher noch nicht Bestandteil der curricularen Lehre ist, sollte untersucht werden, welche Aufbereitungsergebnisse Studierende mit einem marktüblichen System (FlexMaster) erzielen. Die FlexMaster-Feilen wurden für die maschinelle Aufbereitung ausgewählt, da diese bereits in mehreren Studien positiv beurteilt wurden (Sonntag et al. 2003, Schäfer et al. 2004, Guelzow et al. 2005, Schäfer et al. 2005). Zudem berichten verschiedene Autoren von Vorteilen bei der Aufbereitung mit manuellen Nickel-Titan-Feilen gegenüber manuellen Edelstahlfeilen (Pettiette et al. 1999, 2001), bzw. von guten Aufbereitungsergebnissen der manuellen Nickel-Titan-Instrumente (Garip & Gunday 2001, Weiger et al. 2003).

Für die Anwendung rotierender Ni-Ti-Feilen werden drehmomentbegrenzte Schrittmotoren empfohlen. Die Verwendung der Motoren erhöht die Anwendungssicherheit rotierender Ni-Ti-Feilen. Zu beachten ist, dass Frakturen bereits bei Drehmomentwerten  $< 1$  Ncm vorkommen können (Svec & Powers 1999). Schrittmotoren können in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. High torque control
2. Low torque control
3. Very low torque control

*Yared & Kulkarni* untersuchten die Anwendungssicherheit verschiedener Motoren bei der Aufbereitung durch einen unerfahrenen Behandler (Yared & Kulkarni 2002). Bei der Aufbereitung mit maschinellen Ni-Ti-Instrumenten wurde die geringste Frakturnrate (1,06 %) bei Verwendung eines very low torque control Motors (Tecnika, ATR, Pistoia, Italien) erreicht. Keine Unterschiede bezüglich der Frakturnrate konnten *Yared et al.* bei der Kanalaufbereitung durch erfahrene Behandler zwischen einem high torque control Motor und einem low torque control Motor feststellen (Yared et al. 2001a). Die Verwendung eines

very low torque control Motors mit einstellbaren Drehmomentwerten  $< 0,5 \text{ Ncm}$  und auto-stop reverse Funktion erschien somit für die vorliegende Untersuchung mit unerfahrenen Behandlern als am besten geeignet. Schäfer et al. konnten einen guten Formerhalt des Kanalverlaufs und eine sichere Anwendung von FlexMaster-Instrumenten feststellen, die in einem drehmomentbegrenzten Winkelstück eingesetzt wurden (Schäfer et al. 2005).

### 6.1.2. Auswahl der Studienteilnehmer

Um den Einfluss eines einzelnen Behandlers auf das Untersuchungsergebnis zu verringern, sollten die Wurzelkanäle von einem kompletten 1. klinischen Semester aufbereitet werden. Sowohl manuell weniger Begabte als auch Studierende mit hohem manuellen Geschick bereiteten die artifiziellen Kanäle auf. Eine Auswahl Freiwilliger beinhaltet hingegen möglicherweise überdurchschnittlich geschickte oder überdurchschnittlich motivierte Personen. Da die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung in hohem Maße mit den manuellen Fähigkeiten der Behandler korreliert (Namazikhah et al. 2000), wäre in diesem Fall die Repräsentativität einer Untersuchung in Frage gestellt (Pettiette et al. 1999, 2001). Einige Autoren führten in-vitro Untersuchungen zur manuellen und maschinellen Wurzelkanalaufbereitung teilweise mit einer sehr begrenzten Zahl an freiwilligen Studienteilnehmern durch (Baumann & Roth 1999, Mandel et al. 1999, Yared et al. 2002). Da bei experimentellen Untersuchungen im studentischen Unterricht häufig einzelne Behandler überproportional viele Instrumentenfrakturen verursachen, kann es zu einer Verzerrung der Ergebnisse kommen (Mandel et al. 1999). Um die Schwierigkeiten einzelner Behandler bei der Anwendung von bestimmten Feilen zu erfassen, wurden die Frakturen personenspezifisch erfasst.

### 6.1.3. Studienmodelle

Endodontische in-vitro Untersuchungen können sowohl mit künstlichen Wurzelkanälen in Kunststoffprobekörpern, als auch mit natürlichen Wurzelkanälen extrahierter menschlicher Zähne durchgeführt werden (Hülsmann et al. 2003). Natürliche Wurzelkanäle zeigen teils starke Variationen bezüglich ihrer Kanalmorphologie (Schäfer et al. 2002). Demgegenüber kann mit künstlichen Wurzelkanälen eine Standardisierung hinsichtlich

Kanalgeometrie, Krümmungsradius und Kanaldurchmesser erreicht werden (Weine et al. 1976, Tronstad et al. 1986). Künstliche Wurzelkanäle ermöglichen eine direkte Vergleichbarkeit der Aufbereitungsergebnisse (Schäfer et al. 1995).

Verschiedene Materialeigenschaften der eingesetzten Kunststoffe, wie Härte und Zerspanungseigenschaften, unterscheiden sich von natürlichem Wurzeldentin, weswegen eine Übertragbarkeit der gewonnen Erkenntnisse auf die klinische Situation immer nur unter Vorbehalt geschehen kann. Die Verwendung extrahierter menschlicher Zähne wird daher von einigen Autoren favorisiert (Deplazes et al. 2001, Hülsmann et al. 2003, Weiger et al. 2003).

Vergleichende Untersuchungen zur Aufbereitung natürlicher und artifizieller Wurzelkanäle ergaben, dass trotz geringerer Härte der Kunststoffe im Vergleich zum Wurzeldentin artifizielle Wurzelkanäle in Kunststoffprobekörpern ein valides Modell für experimentelle Untersuchungen zur Wurzelkanalaufbereitung natürlicher Zähne darstellen (Lim & Webber 1985b).

Da bei stark gekrümmten Kanalverläufen ein erhöhtes Frakturrisiko beobachtet wird (Baumann & Roth 1999, Mandel et al. 1999) und ein wichtiges Ziel dieser Studie die Überprüfung der Anwendungssicherheit von Ni-Ti-Instrumenten darstellte, wurden stark gekrümmte Kanäle ausgewählt.

In vielen Studien, in denen durchsichtige Kunststoffblöcke mit künstlichen Kanälen als Untersuchungsmaterial verwendet wurden, konnte der Kanal während der Aufbereitung eingesehen werden. Den Behandlern wurde somit eine ständige Kontrollmöglichkeit während des Aufbereitungsvorgangs ermöglicht (Baumann & Roth 1999, Sonntag et al. 2003). Um dies zu vermeiden, wurden in der vorliegenden Studie die Kunststoffblöcke mit den artifiziellen Kanälen in blickdichte Filmdosen mit Zugangskavität eingebettet, so dass nur der Kanaleingangsbereich einsehbar war (Abb. 7 und 8). In anderen Studien wurde hingegen über ein Abkleben der transparenten Blöcke eine möglichst realitätsnahe Aufbereitungssituation geschaffen (Schäfer & Lohmann 2002a, Schäfer et al. 2005).

#### 6.1.4. Randomisierung

Um systematische Fehler auszuschließen, wurden sowohl die Reihenfolge, in der die nummerierten Probekörper aufzubereiten waren, das jeweils dabei anzuwendende Aufbereitungssystem, als auch die Zuordnung der Studienteilnehmer zu den Behandlergruppen A und B mit Hilfe eines Zufallsgenerators festgelegt. Die randomisierten Zuordnungen wurden in eine Codierungsliste aufgenommen.

Auf eine Quasi-Randomisierung mit Initialen der Teilnehmer, Geburtsdatum oder ähnlichem konnte durch dieses Vorgehen verzichtet werden.

#### 6.1.5. Aufbereitung der Wurzelkanäle

Vor der manuellen und maschinellen Wurzelkanalaufbereitung wurde eine Kanaleingangsdarstellung mit Gates-Glidden-Bohrern bis zum Beginn des mittleren Kanaldrittels durchgeführt, um bei den gekrümmten Wurzelkanälen bessere Aufbereitungsergebnisse zu erzielen (Lim & Webber 1985a, Davis et al. 2002).

Als Alternative zu Gates-Glidden-Bohrern empfehlen *Gressmann & Hülsmann* die FlexMaster-Feile .06/35 aufgrund ihrer großen Konizität und ihres Durchmessers (Gressmann & Hülsmann 2001). Aufgrund der höheren Verbreitung von Gates-Glidden-Bohrern im klinischen Alltag wurde auf die Anwendung der Gates-Glidden-Bohrer zurückgegriffen.

Die bei der Aufbereitung von natürlichen Zähnen empfohlene Natriumhypochlorid-Spüllösung wurde bei dieser Studie nicht verwendet, da in der Literatur von einer Verringerung des Materialabtrages bei Kunststoff nach Spülung mit Natriumhypochlorid berichtet wird (Tepel et al. 1995) und somit eine Beeinträchtigung des Aufbereitungsergebnisses provoziert worden wäre.

Die Handaufbereitung erfolgte mit Nickel-Titan K-Feilen. Mit diesem Feilentyp hat sich die Balanced-force-Technik in vielen Studien bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle als vorteilhaft erwiesen (Roane et al. 1985, Kyomen et al. 1994). *Schäfer* erreichte mit der Balanced-force-Methode eine bessere Beibehaltung des originären Kanalverlaufs als mit der Step-back-Technik (Schäfer 1996). In Bezug auf die Menge des entfernten Materials zeigte eine andere Untersuchung keine Vorteile der Balanced-force-Technik gegenüber der Step-back-Technik (Hankins & El Deeb 1996). *Hata et al.* zeigten, dass die

Menge des entfernten Materials nach maschineller Präparation mit Ni-Ti-Feilen in der Crown-down-Technik vergleichbar mit der nach manueller Aufbereitung durch einen Spezialisten in der Balanced-force-Technik waren (Hata et al. 2002).

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine apikale Erweiterung bis ISO 35 vorgenommen und in einem letzten Schritt verkürzt bis ISO 40 erweitert. Hierdurch sollte eine bessere Vergleichbarkeit der manuellen und maschinellen Aufbereitungsergebnisse ermöglicht werden, da bei der maschinellen Aufbereitung mit dem FlexMaster-System nach der Crown-down-Phase ebenfalls eine apikale Erweiterung erfolgt.

Während einige Autoren eine drehend-schabende Arbeitsweise bei K-Feilen empfehlen (Hoppe & Heinsen 1983, Weine 1989, Geurtsen et al. 1993, Hoppe et al. 1993, Schäfer et al. 1994d, Städtler 1994), schlagen andere Autoren eine lineare feilende Arbeitsweise der Instrumente vor (Mumford & Jedyakiewicz 1988, Weine 1989, Löst et al. 1992, Platzer & Sedelmayer 1993). Die Frage nach der qualitativ besten Anwendung in gekrümmten Kanälen ist ebenfalls strittig. Eine aus dem Kanal heraus gerichtete Zugbewegung mit K-Feilen in gekrümmten Kanälen führt zu nicht akzeptablen Formabweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf (Haga 1968, Briseno 1992, Schäfer & Tepel 1993, Städtler 1994). Einige Autoren beschreiben, dass bei einer drehend-schabenden Anwendung weniger Abweichungen vom originären Kanalverlauf zu erwarten sind als bei feilender Arbeitsweise (Jungmann et al. 1975). In der vorliegenden Studie wurden aus diesem Grunde die Instrumente in drehend-schabender Arbeitsweise angewandt.

Andere Autoren hingegen kamen auch bei einer feilenden Anwendung in gekrümmten Kanälen zu guten Ergebnissen (Schilder 1974, Weine 1989, Löst et al. 1992).

#### **6.1.6. Zeitmessung**

Die Angabe der Aufbereitungszeit erfolgte in Minuten statt in Sekunden, um keine mit der Messgenauigkeit nicht übereinstimmende Scheingenauigkeit in diese Untersuchung zu bringen. Die Zeitangaben sind als orientierende Werte zu verstehen, da neben Messfehlern auch gruppenspezifische Prozesse einen Einfluss auf die für die Aufbereitung notierten Zeiten gehabt haben könnten.

Die von den Studierenden eigenständig notierten Zeiten für eine Aufbereitung (ohne vorheriges Preflare) wurden als Orientierungswerte angesehen.

#### **6.1.7. Auswertungen**

Nach Kalibrierung des Untersuchers bezüglich der Auswertungskriterien anhand von Vorversuchen und Bildbeispielen, wurden die bearbeiteten Probekörper in zufälliger Reihenfolge ausgewertet. Um eine möglichst objektive Beurteilung zu gewährleisten, war dem für die Auswertung zuständigen Untersucher die Codierungsliste nicht zugänglich. Somit konnten von der eingetragenen laufenden Nummer eines Probekörpers weder Rückschlüsse auf den Behandler noch auf das jeweils verwendete Aufbereitungssystem gezogen werden.

##### **6.1.7.1. Beurteilung der Kanalmorphologie**

Bei vergleichenden in-vitro Studien zur Ermittlung der Ergebnisqualität verschiedener Aufbereitungssysteme hat es sich bewährt, Wurzelkanäle auf das Vorliegen charakteristischer Aufbereitungsfehler zu untersuchen (Luiten et al. 1995, Kum et al. 2000, Schäfer & Lohmann 2002b).

Insbesondere stark gekrümmte Wurzelkanäle sind bei der Kanalaufbereitung anfällig für das Auftreten von Aufbereitungsfehlern (Weine et al. 1975, Schäfer 2002). Durch die Rückstellkraft der in gekrümmte Wurzelkanalabschnitte vorgeschobenen Aufbereitungsinstrumente kommt es besonders in Bereichen des apikalen Kanaldrittels zu einem verstärkten und unkontrollierbaren Materialabtrag an der Außenkurvatur des Wurzelkanals, was die Entstehung charakteristischer Aufbereitungsfehler nach sich zieht (Walia et al. 1988, Schäfer 2002). Nach *Weine et al.* (1975) sind dies, neben Verlusten der Arbeitslänge und Kanalperforationen, besonders häufig die Entstehung einer Trichter- (Zip) oder Sanduhrform (Elbow) in Apexnähe oder die Bildung einer Stufe (Ledge).



#### **6.1.7.2. Beurteilung der Aufbereitungslänge**

Die Klassifizierung der Aufbereitungslängen in drei Kategorien basierte auf retrospektiven Untersuchungen, nach denen die Wahrscheinlichkeit eines Therapieerfolges bei infizierten Wurzelkanälen am besten ist, wenn die Wurzelfüllung 0 mm bis 2 mm vor dem röntgenologischen Apex endet. Mehr als 2 mm vom röntgenologischen Apex entfernte Wurzelfüllungen weisen geringere, über den Apex hinausreichende Wurzelfüllungen die geringsten Therapieerfolgsraten auf (Sjögren et al. 1990, Schulte et al. 1998, Wu et al. 2000).

In vergleichbaren Studien wurden statt der Entfernung zum Apex die mittleren Verluste der Arbeitslängen ermittelt (Kum et al. 2000, Schäfer & Lohmann 2002). Dieses Vorgehen wurde in der vorliegenden Arbeit nicht übernommen, da eine Aussage über den Anteil der jeweils auf korrekter Länge aufbereiteten Wurzelkanäle getroffen werden sollte.

#### **6.1.7.3. Beurteilung des apikalen Foramens**

Die Beurteilung des apikalen Foramens wurde ebenfalls in drei Kategorien vorgenommen. Ob ein Foramen verblockt, unversehrt oder erweitert war, wurde mit der Messung des Durchmessers jedes Foramens bestimmt. Wenn abgetragene Dentinspäne nicht ausreichend abtransportiert werden, treten Blockaden eines Wurzelkanals auf. Diese Verblockung kann den Erfolg einer endodontischen Behandlung dann gefährden, wenn ein apikaler Dentinpfropfen infiziertes Material enthält (Nair et al. 1990, Wu et al. 2001). Ein erweitertes Foramen würde den Empfehlungen der *European Society of Endodontology* (1994) widersprechen. Die apikale Konstriktion würde nicht erhalten, bzw. unversehrt bleiben.

#### **6.1.7.4. Beurteilung der Transportation**

Digitale Bildüberlagerungsverfahren wurden zur Vermessung von Wurzelkanälen in Kunststoffprobekörpern und bei quantitativen Untersuchungen zum Materialabtrag bereits in mehreren experimentellen Studien erfolgreich eingesetzt (Schäfer 1996, 2001, Coleman & Svec 1997, Svec & Wang 1998, Wu et al. 2000, Schäfer & Lohmann 2002,). Üblich ist

hierbei die Anfertigung digitaler oder digitalisierter Bilder der Wurzelkanäle vor und nach Aufbereitung. Es wurde ein Positionierungsbehelf zur Fixierung der Probekörper verwendet, um eine reproduzierbare Ausrichtung der Wurzelkanäle zur Bildebene und so die Voraussetzung zur Bildüberlagerung zu erreichen (Dummer et al. 1989).

Da kommerziell erhältliche künstliche Wurzelkanäle in nur einer Ebene des Raumes gekrümmt sind, wird von mehreren Autoren vorgeschlagen, die Untersuchungen auf eine zweidimensionale Bestimmung der aufbereitungsbedingten Materialabträge zu beschränken. Um optische Verzerrungen zu vermeiden, wurde die Betrachtungsebene so ausgerichtet, dass diese parallel zur Krümmungsebene der Wurzelkanäle war (Briseno & Sonabend 1991, Schäfer 1996, 2001, Coleman & Svec 1997, Svec & Wang 1998, Schäfer & Lohmann 2002).

Durch digitale Bildüberlagerung und eine 32fache Vergrößerung konnten in der vorliegenden Untersuchung die Materialabträge mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 0,016$  mm bestimmt werden, wobei die Pixelzahl der digitalen Bilddateien den limitierenden Faktor bezüglich der Messgenauigkeit darstellte. Schäfer & Lohmann (2002) ermittelten Materialabträge in künstlichen Wurzelkanälen mittels digitaler Bilddateien bei 40facher Vergrößerung und gaben eine Messgenauigkeit von  $\pm 0,01$  mm an, während Svec & Wang (1998) in einer ähnlichen Untersuchung diesbezüglich keine Angaben machten. Luiten et al. (1995) bestimmten Materialabträge in natürlichen Wurzelkanälen anhand von digitalisierten Röntgenaufnahmen bei 40facher Vergrößerung und einer Messgenauigkeit von  $\pm 0,02$  mm.

Da asymmetrische Materialabträge zu Abweichungen vom originären Kanalverlauf führen (Transportation), beschrieben Svec & Wang (1998) ein Verfahren, um künstliche Wurzelkanäle bezüglich aufbereitungsbedingter Transportationen zu untersuchen. Hierbei wird die Untersuchung auf maximal zwei Messpunkte je Kanal beschränkt. Ein von Luiten et al. (1995) eingeführtes Verfahren ist dazu geeignet, Wurzelkanäle an beliebigen Messpunkten auf das Vorliegen von Transportationen zu untersuchen. Die Kenntnis der Materialabträge an sich gegenüberliegenden Kanalseiten erlaubt eine Aussage darüber, ob ein Wurzelkanal an einem Messpunkt als transportiert zu bezeichnen ist oder nicht. Da mit dem Verfahren nach Luiten mehr als zwei

Messpunkte untersucht werden können, wurde in der vorliegenden Studie zugunsten der erweiterten Aussagekraft der Ergebnisse dieses Verfahren gewählt.

#### **6.1.7.5. Instrumentenfrakturen**

Als Nachteil der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen wird eine erhöhte Frakturgefahr im Vergleich zur manuellen Aufbereitung angegeben (Pruett et al. 1997, Dietz et al. 2000, Turpin et al. 2000, Bergmans et al. 2001). Diese soll insbesondere bei unerfahrenen Behandlern auftreten (Roth 2001). Ohne visuell erkennbare Veränderungen der Ni-Ti-Feilen treten innerhalb der vom Hersteller vorgegebenen Belastungsgrenzen plötzliche Torsions- oder Ermüdungsfrakturen auf (Sattapan et al. 2000a, Yared et al. 2001a, 2001b).

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Fraktur vollrotierender Ni-Ti-Feilen ist vom Kanalquerschnitt und Durchmesser, von der Kanalkrümmung, dem Instrumentenquerschnitt, der ISO-Größe und der Gebrauchsdauer eines Instrumentes sowie von weiteren Faktoren abhängig (Pruett et al. 1997, Thompson & Dummer 1998, Dietz et al. 2000, Yared et al. 2002). *Patino et al.* empfehlen beispielsweise die Aufbereitung des apikalen Drittels mit einer Edelstahl-Feile vor der maschinellen Aufbereitung, um das Frakturrisiko der maschinellen Instrumente zu reduzieren (Patino et al. 2005).

Bei experimentellen Untersuchungen im studentischen Unterricht verursachen häufig einzelne Behandler überproportional viele Instrumentenfrakturen, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann (Mandel et al. 1999). Aufgrund dieser Tatsache wurde neben einer erfolgten Fraktur auch der entsprechende Behandler mit seiner Codierungsnummer vermerkt.

Um die Reibungswärme der Instrumente und die präparationsbedingte Schmierschicht zu reduzieren, wurde in dieser Studie ein Gleitmittel verwendet, wie es auch in der Literatur empfohlen wird (Gressmann & Hülsmann 2001).

## **6.2. Ergebnisse**

### **6.2.1. Vergleich der manuellen und der maschinellen Aufbereitungsergebnisse**

Es muss kritisch angemerkt werden, dass die Studierenden nur über wenig Erfahrung mit beiden Systemen verfügten. Die schwerer zu erlernende manuelle Technik erbrachte daher möglicherweise schlechtere Ergebnisse, als es bei geübten Studierenden der Fall gewesen wäre.

Vergleichende in-vitro Studien zur Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen und manuellen Ni-Ti-Feilen wurden in der Vergangenheit bereits ausgeführt (Deplazes et al. 2001, Weiger et al. 2003). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind zum überwiegenden Teil deckungsgleich mit anderen Studien, wonach generell bei maschineller Aufbereitung geringere morphologische Abweichungen auftreten.

#### **6.2.1.1. Kanalmorphologie**

Elbows, Zips und Ledges traten bei maschineller Aufbereitung signifikant weniger auf als bei manueller Aufbereitung. Das geringere Auftreten von Aufbereitungsfehlern nach maschineller Aufbereitung kann nicht damit erklärt werden, dass die maschinellen Feilen flexibler sind als die manuellen, da bei beiden Instrumententypen die gleiche Legierung verwendet wird. Die manuellen Feilen mit einer Konizität von 2 % sind zudem flexibler als die maschinellen Feilen mit Konizitäten von 4 % und 6 %. Als Erklärung für die Ergebnisse wird die gleichmäßigere Aufbereitungsbewegung der maschinellen Feilen angesehen, die eine geringere Kraftanwendung insbesondere im Kurvaturbereich ermöglicht. Durch die Aufklärung der Studierenden über das Frakturrisiko bei den maschinellen Feilen ist eine vorsichtiger Anwendung dieser Instrumente, bzw. eine generell niedrigere Kraftanwendung gegenüber den manuellen Feilen nicht auszuschließen.

Prozentuale Unterschiede zu anderen Untersuchungen könnten sich durch unterschiedliche Erfahrungsgrade der Behandler sowie durch unterschiedliche Untersucher erklären. Sonntag et al. (2003) beispielsweise geben jedoch für

das Vorkommen von Zips und Elbows ebenfalls höchst signifikante Unterschiede bei der Anwendung von maschinellen und manuellen Feilen an.

#### **6.2.1.2. Aufbereitungslänge**

Bei der manuellen Aufbereitung wurden signifikant weniger Kanäle auf die gewünschte Länge aufbereitet als bei der maschinellen. Zu lange Masterpoints traten signifikant weniger häufig bei der manuellen Präparation auf. Diese Beobachtung machten ebenfalls *Sonntag et al.* (2003). Der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Dadurch, dass die maschinellen Instrumente im Vergleich zu den manuellen Instrumenten mit einer höheren Geschwindigkeit rotieren, könnte eine leichtere Überinstrumentierung als bei der manuellen Aufbereitung resultieren. *Weiger et al.* (2003) konnten bei der Anwendung von manuellen Nickel-Titan Feilen keinen Verlust der Aufbereitungslänge feststellen, bei der Aufbereitung mit FlexMaster-Instrumenten lediglich in einem Fall. *Schäfer & Lohmann* (2002) konnten für FlexMaster-Feilen einen durchschnittlichen Verlust der Arbeitslänge von 0,31 mm in unterschiedlich gekrümmten Kanälen feststellen und bescheinigen den FlexMaster-Feilen einen guten Erhalt der Arbeitslänge.

#### **6.2.1.3. Zustand des apikalen Foramens**

Bei der Beurteilung des apikalen Foramens konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der manuellen und maschinellen Aufbereitung festgestellt werden. *Sonntag et al.* (2003) stellten hingegen eine häufigere Verblockung der Kanäle bei der manuellen Aufbereitung fest. Dieser „apical plug“ verhindert die suffiziente Reinigung der apikalen Region und reduziert die Erfolgsquote (Molven & Halse 1988). Ob der Abtransport von Spänen bei der maschinellen Aufbereitung in der Crown-down-Technik besser als bei der manuellen Aufbereitung ist, konnte nicht geklärt werden. Die evaluierten Ergebnisse bezüglich des Zustandes des Foramens sind kritisch zu bewerten und bedürfen einer weiteren Untersuchung.

#### **6.2.1.4. Transportation der Kanäle**

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung konnte die in der Zielsetzung formulierte 1. Hypothese verifiziert werden:

1. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti-Feilen ermöglicht bei ungeübten Behandlern einen besseren Formerhalt des originären Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung mit Ni-Ti-Feilen.

Durch Bildüberlagerung und eine 32fache Vergrößerung konnte der Materialabtrag an den Kanalwänden und die Transportation der stark gekrümmten Kanäle bestimmt werden. Die Transportation der Kanäle an den 6 Messpunkten fand stets in nur eine für einen Messpunkt charakteristische Richtung statt (Tab. 9). In der vorliegenden Studie zeigten beide Aufbereitungsverfahren im Bereich des apikalen Kanaldrittels einen vermehrten Materialabtrag an der Außenkrümmung des Wurzelkanals, der jedoch bei der Handaufbereitung sehr viel stärker ausgeprägt war. Insgesamt führte die Aufbereitung mit den FlexMaster-Feilen zu einem gleichmäßigeren Materialabtrag an der Innen- und Außenkrümmung. Bei manueller Aufbereitung zeigte sich somit eine stärker ausgeprägte Abweichung vom originären Kanalverlauf als bei rotierender Kanalbearbeitung. Dass rotierende Ni-Ti-Feilen eine formerhaltende Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle ermöglichen, konnte mehrfach demonstriert werden (Baumann & Roth 1999a, Kum et al. 2000, Thompson & Dummer 2000a, 2000b, Sonntag et al. 2003, Guelzow et al. 2005, Schäfer et al. 2005). *Weiger et al.* (2003) beobachteten bei der Aufbereitung mit manuellen Nickel-Titan-Feilen weniger Transportationen als bei der Aufbereitung mit FlexMaster-Feilen. Die vorliegenden Ergebnisse können, wie bei den Zips und Elbows, ebenfalls nicht mit einer höheren Flexibilität der maschinellen Feilen erklärt werden. Eine Erklärung für diese Ergebnisse könnte jedoch die erhöhte Rotationsgeschwindigkeit der maschinellen Feilen im Gegensatz zu den manuellen Feilen sein, die ein unregelmäßiges Bearbeiten der Kanalkrümmung durch zu hohe Kraftanwendung vermeidet.

#### **6.2.1.5. Aufbereitungszeit**

Für die Aufbereitung eines Wurzelkanals wurde mit den maschinellen Feilen deutlich weniger Zeit benötigt als für die manuelle Aufbereitung.

Kürzere Aufbereitungszeiten konnten bei der Verwendung rotierender Ni-Ti-Feilen im Vergleich zu Handfeilen in nahezu allen neueren Studien verzeichnet werden (Kum et al. 2000, Schäfer 2001, Hata et al. 2002, Sonntag et al. 2003). Bei der Aufbereitung natürlicher Zähne konnte ebenfalls ein Zeitvorteil der maschinellen Feilen gegenüber den manuellen Feilen nachgewiesen werden (Glosson et al. 1995, Luiten et al. 1995, Weiger et al. 2003, Guelzow et al. 2005).

Die gemessenen Aufbereitungszeiten in der Literatur unterscheiden sich untereinander jedoch teilweise beträchtlich. *Hülsmann et al.* beschreiben eine Arbeitszeit von ungefähr einer Minute für einen Aufbereitungsvorgang mit zehn FlexMaster-Instrumenten (Hülsmann et al. 2003), während *Schäfer & Lohmann* (2002) ungefähr fünf Minuten für die Präparation mit FlexMaster-Instrumenten von einem erfahrenen Behandler angeben, bzw. ca. 6 Minuten mit manuellen K-Flexofiles bei der Aufbereitung von 35° gekrümmten Kanälen (Schäfer & Lohmann 2002). *Sonntag et al.* (2003) geben als Aufbereitungszeiten von Studierenden für die manuelle Aufbereitung 24 Minuten und für die maschinelle Aufbereitung 12 Minuten an. In einer Studie von *Schäfer et al.* werden für die Aufbereitung mit FlexMaster-Feilen Aufbereitungszeiten zwischen 5 und 10 Minuten je nach Motor und Krümmung des Kanals angegeben (Schäfer et al. 2005).

Ein Grund für die verschiedenen Aufbereitungszeiten könnte der unterschiedliche Erfahrungsgrad der Studienteilnehmer in der Endodontologie sein. In den beschriebenen Untersuchungen wurden entweder keine Angaben zu dem Erfahrungsgrad der Behandler gemacht, oder es führten teilweise erfahrene Behandler die Aufbereitung durch. Beachtet werden muss zudem, dass die untersuchten Kanäle teilweise eine kürzere Länge aufwiesen und ebenso eine geringere Anzahl an maschinellen Feilen eingesetzt wurde (Schäfer & Lohmann 2002).

Als einer der Gründe für die kürzeren Aufbereitungszeiten der maschinellen Verfahren wird eine geringere Anzahl an durchzuführenden Instrumentenwechseln angegeben (Kum et al. 2000). Neu entwickelte Feilen,

wie M-Files (Gebr. Brasseler, Lemgo) oder MTwo-Files (VDW, München), weisen eine reduzierte Anzahl von maschinellen Instrumenten auf. Mit lediglich 3 bis 4 Feilen werden Aufbereitungen mit M-Files durchgeführt. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden für die manuelle Aufbereitung 6 Instrumente und für die maschinelle Aufbereitung bis zu 12 Instrumente angewandt. Beim maschinellen System entfällt jedoch das zeitintensive Rekapitulieren. Dies könnte als Erklärung für die kürzere Aufbereitungszeit dienen.

#### **6.2.1.6. Auswertung der Befragung**

Die Studierenden ohne Erfahrung in der Endodontie waren von dem maschinellen Aufbereitungssystem überzeugt und lassen damit eine Einführung der maschinellen Aufbereitung in den studentischen Unterricht als sinnvoll erscheinen. Die Einfachheit des Erlernens des maschinellen Aufbereitungssystems und ein größeres Sicherheitsgefühl bei der maschinellen Aufbereitung haben die Studienteilnehmer dazu bewogen, sich im Durchschnitt für das maschinelle Aufbereitungssystem zu entscheiden. Das manuelle Aufbereiten mit Nickel-Titan-Feilen wurde im Durchschnitt bei keinem Befragungspunkt als Präferenz angegeben. Wichtig bei den Angaben der Studienteilnehmer zur Frage nach dem Sicherheitsgefühl dürfte die sich vom manuellen System nicht unterscheidende Frakturnrate gewesen sein. Die theoretische Einführung vor den Aufbereitungen hat sich durch gezieltes Hinweisen auf korrektes Arbeiten mit den maschinellen Feilen bewährt. Studien anderer Autoren bestätigen die Annahme, dass gewissenhaft durchgeführter Unterricht und Behandlungserfahrungen bei der Minimierung des Frakturrisikos eine Rolle spielen (Barbakow & Lutz 1997, Baumann & Roth 1999, Mandel et al. 1999, Yared et al. 2001b).



### **6.2.2. Aufbereitungsergebnisse der Gruppen mit und ohne manueller Vorübung**

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung konnte die in der Zielsetzung formulierte 2. Hypothese überprüft werden:

2. Das Erlernen einer manuellen Aufbereitungstechnik vor Ausübung der maschinellen Kanalaufbereitung führt zu keiner Qualitätsverbesserung bei der maschinellen Kanalaufbereitung.

Die 2. Hypothese wurde bestätigt. Die Ergebnisse zeigen, dass die manuelle Aufbereitung von 5 gekrümmten Kanälen bis auf einen untersuchten Parameter zu keiner Verbesserung der maschinellen Aufbereitung führt. Bei dem Untersuchungskriterium „Ledge“ erreichte die Gruppe mit manueller Vorübung signifikant bessere Ergebnisse als die Gruppe ohne manuelle Erfahrung. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte die vorhandene Behandlungserfahrung sein, die zu einem kontrolliertem Vorgehen bei der maschinellen Aufbereitung geführt hat gegenüber den Studierenden, die sofort mit der maschinellen Aufbereitung begonnen haben. Die Gruppe ohne manuelle Vorkenntnisse bereitete die Kanäle maschinell schneller auf als die Gruppe mit manueller Erfahrung. Eine gruppendynamische Beeinflussung der Aufbereitungszeiten ist genauso wenig auszuschließen, wie eine Beeinflussung des Zeitgefühls der Studienteilnehmer durch die vorher durchgeführte zeitintensivere manuelle Aufbereitung. *Sonntag et al.* (2003) hingegen stellten bei Studierenden mit manueller Erfahrung eine schnellere maschinelle Aufbereitung gegenüber Studierenden ohne manuelle Erfahrung fest. Da alle anderen Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede aufweisen, erscheinen die gefundenen Unterschiede von nur geringer Relevanz. In der Literatur gibt es lediglich eine Studie mit ähnlicher Fragestellung, die einen Vergleich ermöglicht. Bezüglich der Klärung dieser Fragestellung bedarf es weiterer Untersuchungen.

### 6.2.3. Instrumentenfrakturen

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung konnte die in der Zielsetzung formulierte 3. und 4. Hypothese überprüft werden:

3. Als Übungseffekt von 5 aufbereiteten gekrümmten Wurzelkanälen verursachen ungeübte Behandler bei der Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen eine Frakturrate von  $\leq 5\%$ .
4. Als Übungseffekt von 10 aufbereiteten gekrümmten Wurzelkanälen erreichen ungeübte Behandler bei der Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen eine Frakturrate von  $\leq 2,5\%$ .

Da die Frakturrate von Beginn an unter 2,5 % lag, kann keine Anzahl von aufbereiteten Kanälen genannt werden, die für eine Frakturrate unter 5 % bzw. unter 2,5 % nötig sind, da die Anzahl der Frakturen nicht mit steigender Erfahrung in der Anwendung abnahm. Im 3. Aufbereitungszyklus kam es im Gegenteil sogar zu einem Anstieg der Frakturrate, was durch nachlassende Vorsicht bei der Anwendung der maschinellen Feilen nach einem vermeintlich erzielten Sicherheitsgefühl zu erklären sein könnte. Die manuelle Vorübung vor der maschinellen Aufbereitung führte ebenfalls nicht zu einer Reduzierung der maschinellen Frakturrate. Die Frakturrate der maschinellen Instrumente wies sogar bei Gruppe A einen höheren Wert als bei Gruppe B auf. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Da sich die Frakturen dabei nur auf wenige Behandler fokussierten (Tab. 16) und bei einer Untersuchung der Feilen nicht nur Ermüdungsfrakturen, sondern auch Torsionsfrakturen verzeichnet wurden, kann von einer unsachgemäßen Anwendung der Feilen, bzw. Fehlern bei Einstellung des drehmomentbegrenzten Motors ausgegangen werden. *Mandel et al.* machten die Beobachtung, dass die aufgetretenen Frakturen nur von einigen wenigen Behandlern verursacht wurden (Mandel et al. 1999). *Baumann et al.* (1999a, 1999b) und *Mandel et al.* (1999) ermittelten in vergleichbaren experimentellen Studien zur Aufbereitung artifizierender Wurzelkanäle mit rotierenden Ni-Ti-Feilen Frakturaten von 9,4%, 15,7%, bzw. 16,8%. Studien anderer Autoren bestätigen die Annahme, dass gewissenhaft durchgeführter Unterricht und Behandlungserfahrungen bei der Minimierung

des Frakturrisikos eine Rolle spielen (Barbakow & Lutz 1997, Baumann & Roth 1999, Mandel et al. 1999, Yared et al. 2001b, Peters 2004). Zudem scheint eine geringe Anwendungshäufigkeit eine Rolle bei der Reduzierung der Frakturrate zu spielen. Da auch Ermüdungsbrüche in der vorliegenden Studie zu verzeichnen waren, ist nicht auszuschließen, dass durch eine intensivere Kontrolle der Feilen vor der Aufbereitung oder durch generell früheres Verwerfen der Feilen eine geringere Frakturrate zu erreichen gewesen wäre.

Ein Nachteil künstlicher Wurzelkanäle ist, dass die durch die rotierenden Feilen im Kanal erzeugte Reibungswärme den Kunststoff partiell erweicht und zur Entstehung von Drehmomentspitzen führen kann (Kum et al. 2000). Diese außergewöhnliche hohe Torquebelastung kann eine Instrumentenfraktur begünstigen (Baumann & Roth 1999). Angesichts dieser Materialeigenschaften lassen sich die Frakturraten nur unter Vorbehalt auf die klinische Situation übertragen (Kum et al. 2000, Schäfer & Lohmann 2002). Die bei maschineller Aufbereitung natürlicher Wurzelkanäle erhobenen Frakturraten sind in nahezu allen in-vitro Studien niedriger. So ermittelten beispielsweise *Yared & Kulkarni* (2002) Frakturraten von 1,06% bei maschineller Aufbereitung natürlicher Wurzelkanäle.

Insgesamt wurde in der vorliegenden Studie bei beiden Systemen eine klinisch akzeptabel niedrige Frakturrate erreicht. Eine erhöhte maschinelle Frakturrate konnte nicht festgestellt werden, und sie stellt nach den Ergebnissen dieser Untersuchung keinen limitierenden Faktor bezüglich der Anwendung von maschinellen Feilen speziell für Studierende dar.

### **6.3. Schlussfolgerung**

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lassen sich für die Wurzelkanalaufbereitung im studentischen Unterricht folgende Schlüsse ziehen:

- Studierende erreichen im vorklinischen Unterricht mit dem maschinellen Aufbereitungssystem FlexMaster mit Ni-Ti-Feilen deutlich bessere Aufbereitungsergebnisse als mit manuellen Ni-Ti-Feilen.
- Eine vorherige Ausbildung in der Anwendung von manuellen Feilen zur Verbesserung des maschinellen Aufbereitungsergebnisses ist nach den vorliegenden Daten nicht notwendig.
- Das eingesetzte maschinelle Aufbereitungssystem kann aufgrund der ermittelten niedrigen Frakturrate als ausreichend sicher in der studentischen Anwendung beschrieben werden.
- Höhere Investitionskosten für Schrittmotoren und höhere Feilenpreise sowie eine geringe Anwendungshäufigkeit der maschinellen Instrumente sind als Nachteil gegenüber den manuellen Feilen zu werten.
- Ein Beginn der praktischen endodontischen Ausbildung mit vollrotierenden Nickel-Titan-Feilen im vorklinischen Unterricht erscheint empfehlenswert. Die Studierenden können mit dem einfachen Arbeitslauf der maschinellen Systeme und ersten Erfolgserlebnissen an komplizierte manuelle Techniken herangeführt werden.

Eine Einführung der maschinellen Instrumente in den klinischen Unterricht sollte erwogen werden.

## 7. Zusammenfassung

### 7.1. Zusammenfassung (Rigorosum)

#### **Einfluss des Übungseffektes auf die Anwendungssicherheit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Feilen in der studentischen Ausbildung**

**Delschen, Stephan**

**Zielsetzung:** Die Anwendung maschineller Nickel-Titan-Feilen im studentischen Unterricht soll untersucht werden.

**Material und Methode:** 30 Studierende des 6. Semesters hatten die Aufgabe, 150 künstliche, stark gekrümmte Wurzelkanäle manuell und 450 Kanäle maschinell aufzubereiten. Die manuelle Aufbereitung erfolgte mit K-Feilen aus Ni-Ti, die maschinelle Aufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen.

**Ergebnisse:** Zips und Elbows treten bei maschineller Aufbereitung weniger häufig auf als bei manueller Aufbereitung ( $p \leq 0,001$ ). Die korrekte Aufbereitungslänge wird signifikant ( $p \leq 0,05$ ) häufiger mit den maschinellen Feilen als mit den manuellen Feilen erreicht. Die durchschnittliche Aufbereitungszeit ist für die manuelle Aufbereitung signifikant ( $p \leq 0,001$ ) länger als für die rotierende Aufbereitung. Studierende mit manueller Aufbereitungserfahrung erzielen bei der maschinellen Aufbereitungstechnik keine besseren Ergebnisse als die Studierenden ohne manuelle Erfahrung. Bei beiden Systemen werden Frakturnraten von 1,3% erreicht. 83,3% der Studierenden geben ein größeres Sicherheitsgefühl bei der maschinellen gegenüber der manuellen Aufbereitung an.

**Schlussfolgerung:** Die maschinelle Aufbereitung garantiert einen besseren Formerhalt des Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung. Die Frakturnrate unterscheidet sich nicht bei den beiden Aufbereitungstechniken.

**Problemstellung:** Durch die Einführung von Nickel-Titan-Instrumenten in die Endodontie konnten in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte im Bereich der Wurzelkanalaufbereitung erzielt werden. Zudem wurden bei dem Einsatz von rotierenden Nickel-Titan-Feilen bessere Aufbereitungsergebnisse erzielt. Ob die Anwendung maschineller Nickel-Titan-Feilen in den studentischen Unterricht integriert werden sollte, wird kontrovers diskutiert.

**Literatur:** Für die Wurzelkanalaufbereitung sind manuelle und maschinelle Instrumente auf dem Markt verfügbar. Seit der Einführung des Werkstoffs Nickel-Titan durch *Walia et al.* (1988) werden maschinelle Instrumente nahezu ausschließlich aus dieser hochflexiblen Legierung gefertigt. Studien zeigen, dass die mit maschinellen Wurzelkanalinstrumenten aufbereiteten Wurzelkanäle weniger Aufbereitungsfehler wie Kanalbegradigungen, Transportationen oder *Viae falsae* aufweisen als die mit manuellen Instrumenten behandelten Kanäle. Die Anwendung von rotierenden Instrumenten stellt zudem eine Zeitersparnis beim Aufbereitungsvorgang dar. Problematisch erscheint nach wie vor eine gegenüber Handinstrumenten erhöhte Frakturrate bei den maschinellen Aufbereitungssystemen. Es wurde bisher nicht untersucht, ob das Erlernen einer manuellen Technik vor dem Anwenden einer maschinellen Technik zu einer geringeren Frakturrate bei der maschinellen Aufbereitung führt. In der studentischen Ausbildung hat bislang die manuelle Wurzelkanalaufbereitung Priorität.

**Material und Methode:** 30 Studierende des 6. FS hatten die Aufgabe, je 15 künstliche, stark gekrümmte Wurzelkanäle maschinell und 5 Kanäle manuell aufzubereiten. Als manuelle Aufbereitungsinstrumente wurden 25 mm lange K-Feilen aus Nickel-Titan in den ISO-Größen 15, 20, 25, 30, 35 und 40 in der so genannten watch winding Bewegung eingesetzt. Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung erfolgte mit 25 mm langen Nickel-Titan FlexMaster-Feilen in der Crown-down-Technik. Vor der erstmaligen Anwendung des manuellen bzw. des maschinellen Systems erhielten die Studierenden eine mehrstündige theoretische Einführung und eine praktische Demonstration der Arbeitsweise. Zusätzlich bereiteten die Studierenden übungsweise jeweils einen Kanal auf, um die jeweilige Technik zu trainieren. Traten während der manuellen oder der maschinellen Aufbereitung Instrumentenfrakturen auf, wurden die frakturierten Instrumente gegen neue Instrumente ausgetauscht. Zu Beginn der Aufbereitung erfolgte eine Erweiterung des Kanaleingangsbereiches (Preflare) mit Gates-Glidden-Bohrern im oberen Kanaldrittel. Für die maschinelle Aufbereitung erhielten die Studierenden neben den maschinellen Feilen einen Motor mit individuell auf die Instrumente abgestimmtem Drehmoment.

Die für die Aufbereitung benötigte Zeit wurde nach jeder abgeschlossenen Aufbereitung von den Studierenden notiert. Im Anschluss an alle manuellen und maschinellen Wurzelkanalaufbereitungen füllten die Studierenden Fragebögen zur manuellen und maschinellen Aufbereitung aus.

Die Untersuchungsparameter Elbow, Zip, Ledge sowie Transportation wurden anhand von fotografischen Aufnahmen, die vor und nach den Aufbereitungen angefertigt wurden, evaluiert. Der Zustand des apikalen Foramens und die Aufbereitungslänge wurden unter dem Auflichtmikroskop untersucht.

Nach der Prüfung der Daten auf Plausibilität wurde auf Normalverteilung untersucht. Lag eine Normalverteilung vor, so wurde der T-Test verwendet, im anderen Fall der U-Test nach Mann und Whitney. Traten signifikante Unterschiede beim Chi-Quadrat-Test auf, wurden die standardisierten Residuen bestimmt. Als signifikant wurde ein Unterschied beschrieben, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% lag.

### Ergebnisse:

<i>Untersuchungs- parameter</i>	<i>Manuell</i>	<i>Maschinell</i>	<i>Irrtumswahrsch. u. Signifikanz</i>
Elbow	62 %	34,2 %	$p \leq 0,001$ ***
Zip	47,3 %	17,3 %	$p \leq 0,001$ ***
Ledge	11,3 %	5,3 %	$p \leq 0,05$ *
MP korrekt	48 %	68,2 %	$p \leq 0,05$ *
AF unversehrt	25,3 %	28 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 1 mm	47,5 %	29,3 %	$p \leq 0,001$ ***
TrMsPt 3 mm	41,5 %	29,3 %	$p \leq 0,05$ *
TrMsPt 5 mm	33,8 %	12,8 %	$p \leq 0,001$ ***
TrMsPt 7 mm	74,3 %	49,5 %	$p \leq 0,01$ **
TrMsPt 9 mm	13,5 %	9,9 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 11 mm	23,6 %	13,3 %	$p \leq 0,05$ *
Aufbereit.zeit	13 min	8 min	$p \leq 0,001$ ***
Frakturnrate	1,3 %	1,3 %	$p > 0,05$ ns

Tab. 11: Ergebnisse der manuellen und der maschinellen Aufbereitung

Zips und Elbows treten bei manueller Aufbereitung sehr viel häufiger ( $p \leq 0,001$ ) als bei maschineller Aufbereitung auf. Ledges kommen bei der manuellen Aufbereitung signifikant häufiger vor ( $p \leq 0,05$ ). Bei manueller Aufbereitung erreicht der Masterpoint (MP) signifikant weniger häufig die richtige Entfernung zum Foramen als bei der maschinellen Technik ( $p \leq 0,05$ ). Bei der Untersuchung des apikalen Foramens können keine signifikanten Unterschiede zwischen der manuellen und maschinellen Aufbereitung festgestellt werden ( $p > 0,05$ ). Insgesamt werden an 6 Messpunkten (TrMsPt mit  $n = 1$  mm bis 11 mm Distanz zum Foramen) bei manueller Aufbereitung häufiger Kanäle transportiert als bei maschineller Kanalarbeitung. Die Aufbereitung eines Wurzelkanals ist mit den maschinellen Feilen nach 8 Minuten, die manuelle Aufbereitung nach 13 Minuten abgeschlossen ( $p \leq 0,001$ ).

Die Frakturnrate bei der manuellen Aufbereitung beträgt 1,3%. Die Frakturnrate bei dem maschinellen System beträgt ebenfalls 1,3%.

Ein Training mit manueller Aufbereitung vor der maschinellen Aufbereitung führt nicht zu besseren Ergebnissen der maschinellen Aufbereitung. Die Gruppe mit manuellen Vorkenntnissen produziert aber signifikant weniger Ledges als die Gruppe ohne manuelle Vorkenntnisse ( $p \leq 0,05$ ). Die Gruppe ohne manuelle Vorkenntnisse bereitet die Kanäle maschinell schneller auf als die andere Gruppe ( $p \leq 0,001$ ).

83,3% der Studienteilnehmer geben ein größeres Sicherheitsgefühl bei der maschinellen Aufbereitung an.

**Diskussion und Schlussfolgerung:** Ein Beginn der endodontischen Ausbildung mit rotierenden Ni-Ti Feilen erscheint nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung sinnvoll. Nach ersten praktischen Erfolgserlebnissen mit der maschinellen Technik können die Studierenden später an weitere Aufbereitungstechniken herangeführt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass nach der Aufbereitung von 15 künstlichen Kanälen die maschinelle Aufbereitung weitgehend beherrscht wird. Eine Anwendung der maschinellen Aufbereitung wird somit auch für den klinischen studentischen Unterricht empfohlen.



## 7.2. Zusammenfassung (Marburger Bibliographie)

### **Einfluss des Übungseffektes auf die Anwendungssicherheit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Feilen in der studentischen Ausbildung**

**Delschen, Stephan**

**Problemstellung:** Durch die Einführung von Nickel-Titan-Instrumenten in die Endodontie konnten in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte im Bereich der Wurzelkanalaufbereitung erzielt werden. Ob die Anwendung maschineller Nickel-Titan-Feilen in den studentischen Unterricht integriert werden sollte, wird kontrovers diskutiert. **Ziel:** In-vitro soll evaluiert werden, ob (1.) die maschinelle Aufbereitung mit Ni-Ti-Feilen einen besseren Formerhalt des Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung mit Ni-Ti-Feilen bei Studierenden ermöglicht und ob (2.) eine manuelle Behandlungserfahrung eine Verbesserung für die maschinelle Aufbereitung bewirkt. **Material und Methode:** 30 Studierende des 6. Semesters hatten die Aufgabe, je 15 künstliche, stark gekrümmte Wurzelkanäle maschinell und je 5 Kanäle manuell aufzubereiten. Die manuelle Aufbereitung erfolgte mit K-Feilen aus Ni-Ti, die maschinelle Aufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen. Zur Evaluation der Untersuchungsparameter wurden die künstlichen Kanäle vor und nach den Aufbereitungen fotografiert. **Ergebnisse:** (1.) Die maschinelle Aufbereitung garantiert einen besseren Formerhalt des Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung. Elbows und Zips treten bei maschineller Aufbereitung weniger häufig auf als bei manueller Aufbereitung ( $p \leq 0,001$ ). Bei der manuellen Aufbereitung werden weniger Kanäle auf die gewünschte Länge aufbereitet als bei der maschinellen ( $p \leq 0,05$ ). Bei der maschinellen Aufbereitung werden weniger Kanäle transportiert. Für die maschinelle Aufbereitung wird weniger Zeit als für die manuelle Aufbereitungszeit benötigt ( $p \leq 0,001$ ). (2.) Studierende mit manueller Aufbereitungserfahrung erzielen bei der maschinellen Aufbereitungstechnik keine besseren Ergebnisse als die Studierenden ohne manuelle Erfahrung. Die Frakturrate bei beiden Aufbereitungstechniken unterscheidet sich nicht.

### 7.3. Abstract

#### 7.3.1. Englische Version

##### Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students

Delschen, Stephan

**Aim:** To investigate root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students.

**Methodology:** Thirty undergraduate dental students prepared 150 simulated curved root canals in resin blocks with manual Ni-Ti K-files with a stepback technique and 450 simulated curved canals with rotary Ni-Ti files with a crowdown technique. Canal shape, preparation length, preparation time and incidence of fracture were investigated. Questionnaires were then issued to the students for registration of their rating of the two preparation methods. **Results:** Zips and elbows occur significantly ( $p \leq 0.001$ ) less frequently with rotary than with manual preparation. The correct preparation length is achieved significantly ( $p \leq 0.05$ ) more often with rotary files than with manual files. The mean time required for manual preparation is significantly ( $p \leq 0.001$ ) longer than that required for rotary preparation. Prior experience with a hand preparation technique is not correlated in an improved quality of the subsequent rotary preparation. Fractures are recorded in only 1.3% of cases with both rotary and manual preparation. 83.3% of the students claim to have a greater sense of security in rotary than in manual preparation. **Conclusions:** Inexperienced operators achieve better canal preparations with rotary instruments than with manual files. However, no difference in fracture rate is recorded between the two systems.

### 7.3.2. Deutsche Version

#### **Einfluss des Übungseffektes auf die Anwendungssicherheit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Feilen in der studentischen Ausbildung**

**Delschen, Stephan**

**Zielsetzung:** Die Anwendung maschineller Nickel-Titan-Feilen im studentischen Unterricht soll untersucht werden.

**Material und Methode:** 30 Studierende des 6. Semesters hatten die Aufgabe, 150 künstliche, stark gekrümmte Wurzelkanäle manuell und 450 Kanäle maschinell aufzubereiten. Die manuelle Aufbereitung erfolgte mit K-Feilen aus Ni-Ti, die maschinelle Aufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen.

**Ergebnisse:** Zips und Elbows treten bei maschineller Aufbereitung weniger häufig auf als bei manueller Aufbereitung ( $p \leq 0,001$ ). Die korrekte Aufbereitungslänge wird signifikant ( $p \leq 0,05$ ) häufiger mit den maschinellen Feilen als mit den manuellen Feilen erreicht. Die durchschnittliche Aufbereitungszeit ist für die manuelle Aufbereitung signifikant ( $p \leq 0,001$ ) länger als für die rotierende Aufbereitung. Studierende mit manueller Aufbereitungserfahrung erzielen bei der maschinellen Aufbereitungstechnik keine besseren Ergebnisse als die Studierenden ohne manuelle Erfahrung. Bei beiden Systemen werden Frakturaten von 1,3% erreicht. 83,3% der Studierenden geben ein größeres Sicherheitsgefühl bei der maschinellen gegenüber der manuellen Aufbereitung an.

**Schlussfolgerung:** Die maschinelle Aufbereitung garantiert einen besseren Formerhalt des Kanalverlaufs als die manuelle Aufbereitung. Die Frakturrate unterscheidet sich nicht bei den beiden Aufbereitungstechniken.

## 8. Literaturverzeichnis

1. Andreasen G, Heilman H, Krell D: Stiffness changes in thermodynamic nitinol with increasing temperature. *Angle Orthod* **55**, 120-126 (1985)
2. Arbab-Chirani R, Vulcain JM: Undergraduate teaching and clinical use of rotary nickel-titanium endodontic instruments: a survey of French dental schools. *Int Endod J* **37**, 320-324 (2004)
3. Aten JC: The simulation of clinical corrosion of endodontic files. *Master Thesis*, North-Western University of Chicago, USA 1993
4. Backman CA, Oswald RJ, Pitts DL: A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques. *J Endodont* **18**, 19-24 (1992)
5. Barbakow F, Lutz F: The 'Lightspeed' preparation technique evaluated by Swiss clinicians after attending continuing education courses. *Int Endod J* **30**, 46-50 (1997)
6. Baumann MA, Roth A: Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **88**, 714-718 (1999)
7. Beer R, Baumann MA: Praktische Endodontie. *Urban & Schwarzenberg*, München-Wien-Baltimore 1994
8. Beer R, Baumann MA, Kielbassa AM: Taschenatlas der Endodontie. *Thieme*, Stuttgart 2004
9. Benenati FW, Khajotia SS: A radiographic recall evaluation of 894 endodontic cases treated in a dental school setting. *J Endodont* **28**, 391-395 (2002)
10. Bentkover SK, Wenckus CH: Digital comparison of three instrumentation techniques in curved canals. Abstract RS 67, *J Endodont* **20**, 205 (1994)
11. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P: Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am Dent J* **14**, 324-333 (2001)
12. Bou Dagher FE, Yared GM: Comparison of three files to prepare curved root canals. *J Endodont* **21**, 264-265 (1995)

13. Bramante CM, Berbert A, Borges RP: A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endodont* **13**, 243-245 (1987)
14. Briseno BM: Einfluß verschiedener Wurzelkanalinstrumente bzw. Aufbereitungstechniken auf die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle. *Endodontie* **1**, 279–290 (1992)
15. Briseno BM, Sonnabend E: The influence of different root canal instruments on root canal preparation: an in vitro study. *Int Endod J* **24**, 15-23 (1991)
16. Bühl A, Zöfel P: SPSS Version 10. *Addison Wesley Verlag*, München 2000
17. Cailletteau JG, Mullaney TP: Prevalence of Teaching Apical Patency and Various Instrumentation and Obturation Techniques in United States Dental Schools. *J Endodont* **6**, 394-396 (1997)
18. Chen JL, Messer HH: A comparison of stainless steel hand and rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. *Aust Dent J* **47**, 12-20 (2002)
19. Clinard K, von Fraunhofer JA, Kuftinec MM: The corrosion susceptibility of modern orthodontic spring wires. Abstract 1277, *J Dent Res* **60**, 628 (1981)
20. Coleman CL, Svec TA: Analysis of Ni-Ti versus stainless steel instrumentation in resin simulated canals. *J Endodont* **23**, 232-235 (1997)
21. Coleman CL, Svec TA, Rieger MR, Wang M, Suchina JA, Glickman GN: Stainless steel vs. nickel-titanium K-files: Analysis of instrumentation in curved canals. Abstract RS 23, *J Endodont* **21**, 221 (1995)
22. Coolidge ED: Past and present concepts in endodontics. *J Am Dent Assoc* **61**, 676-688 (1960)
23. Cunningham CJ, Senia ES: A three-dimensional study of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars. *J Endodont* **18**, 294-300 (1992)
24. Darabara M, Bourithis L, Zinelis S, Papadimitriou D: Susceptibility to localized corrosion of stainless steel and NiTi endodontic instruments in irrigating solutions. *Int Endod J* **37**, 705-710 (2004)

25. Davis RD, Marshall JG, Baumgartner JC: Effect of early coronal flaring on working length change in curved canals using rotary nickel-titanium versus stainless steel instruments. *J Endodont* **28**, 438-442 (2002)
26. Deplazes P, Peters O, Barbakow F: Comparing Apical Preparations of Root Canals Shaped by Nickel-Titanium Rotary Instruments and Nickel-Titanium Hand Instruments. *J Endodont* **27**, 196-202 (2001)
27. Dietz G: Abriß der Entwicklung der Endodontie. *Colloqu med dent* **27**, 780-784 (1983)
28. Dietz DB, Di Fore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP: Effect of Rotational Speed on the Breakage of Nickel-Titanium Rotary Files. *J Endodont* **26**, 68-71 (2000)
29. Dummer PMH, Alodeh MHA, Doller R: Shaping of simulated root canals in resin blocks using files activated by a sonic handpiece. *Int Endod J* **22**, 211-225 (1989)
30. Dummer PMH, Al Omari M: Effect of preparation technique on the shape of root canal: an in vitro study. Abstract, *Int Endod J* **27**, 97 (1994)
31. Edie JW, Andreasen G: Surface corrosion of Nitinol and stainless wires. Abstract 1037, *J Dent Res* **59**, 528 (1980)
32. Edie JW, Andreasen G, Zaytoun MP: Surface corrosion of Nitinol and stainless steel under clinical conditions. *Angle Orthodont* **51**, 319-324 (1981)
33. European Society of Endodontology: Undergraduate Curriculum Guidelines for Endodontology. *Int Endod J* **25**, 169-172 (1992)
34. European Society of Endodontology: Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment. *Int Endod J* **27**, 115-124 (1994)
35. Esposito PT, Cunningham CJ: A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J Endodont* **21**, 173-176 (1995)
36. Friedman S, Löst C, Zarrabian M, Trope M: Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endodont* **21**, 384-390 (1995)

37. Garip Y, Gunday M: The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals. *Int Endod J* **34**, 452-457 (2001)
38. Geurtsen W, Heidemann D, Ketterl W: Endodontie. In Ketterl W. (Hrsg): Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 3 (Zahnerhaltung II), 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München–Wien-Baltimore 1993
39. Glickman GN, Dumsha TC: Probleme bei der Säuberung und Aufbereitung der Kanäle. In Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE (Hrsg): Problemlösungen in der Endodontie. *Hanser*, München 1991
40. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, Del Rio CE: A comparison of root canal preparations using NiTi hand, NiTi engine driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endodont* **21**, 146–151 (1995)
41. Gressmann G, Hülsmann M: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. *Endodontie* **10**, 227-241 (2001)
42. Grossmann LI: Endodontics: Then and now. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **32**, 254-259 (1971)
43. Grossmann LI: Endodontics 1776-1976: a bicentennial history against the background of general dentistry. *J Am Dent Assoc* **93**, 78-87 (1976)
44. Guldener PH, Langeland K: Endodontologie. 2. Aufl. *Thieme*, Stuttgart-New York 1987
45. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM: Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* **38**, 743-752 (2005)
46. Haga CS: Microscopic measurements of root canal preparations following instrumentation. *J Br Endod Soc* **2**, 41–46 (1968)
47. Haller RH, Glosson CR, Dove SB, Del Rio CE: Nickel-titanium hand and engine-driven root canal preparations: A comparison study. Abstract PC 12, *J Endodont* **20**, 209 (1994)
48. Hankins PJ, El Deeb ME: An evaluation of the Canal Master, Balanced-Force, and Step-Back Techniques. *J Endodont* **22**, 123-130 (1996)
49. Harty FJ, Parkins BJ, Wengraf AM: Success Rate in Root Canal Therapy: A Retrospective Study of Conventional Cases. *Br Dent J* **128**, 65-70 (1970)

50. Hata G, Uemura M, Kato AS, Imura N, Novo NF, Toda T: A comparison of shaping ability using ProFile, GT File, and Flex-R endodontic instruments in simulated canals. *J Endodont* **28**, 316-321 (2002)
51. Hedström G: Die Gangrän d. Zahnpulpa und ihre Behandlung, basierend auf biochem. Unters. Engl. Übersetzung aus dem Schwedischen, Isaac Marcus. *Boktryckeri-Aktiebolag Stockholm, Sweden* 1927
52. Himel VT, Ahmed K: Instrumentation effects of endodontic files on canal shape and apical foramen. Poster clinic # 19. *J Endodont* **19**, 208 (1993)
53. Himel VT, Moore RE, Hicks VE: The effects which three endodontic files have on canal shape. Abstract RS 65, *J Endodont* **20**, 204 (1994)
54. Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. *Quintessenz*, 300-304 (1973)
55. Hoppe W, Heinsen JP: Schärfe-Grenzwerte von Wurzelkanalbohrern und Hedströmfeilen und ihre Bedeutung für die Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* **38**, 209-213 (1983)
56. Hoppe W, Schäfer E, Tepel J: Instrumentarium und Konzept für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung. *Zahnärztl Welt* **102**, 764–771 (1993)
57. Hülsmann M; Gressmann G, Schäfers F: A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* **36**, 358-66 (2003)
58. Ingle JI, Bakland LK: Endodontics. 4<sup>th</sup> ed. *Williams & Wilkins*, Baltimore–Philadelphia–Hong Kong–London–Munich–Sydney–Tokyo 1994
59. Jungmann CL, Uchin RA, Bucher JF: Effect of instrumentation on the shape of the root canal. *J Endodont* **1**, 66–69 (1975)
60. Kerekes K, Tronstad L: long term result of endodontic treatment performed with a standardized technique. *J Endodont* **5**, 83-90 (1979)
61. Kersh M, Staniloff D, White R, Goldman M, Tenca J: In vitro comparison of techniques for instrumentation of curved canals. Abstract # 32, *J Endodont* **19**, 193 (1993)
62. Klimek J, Koçkan C, Borchert J: Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalfüllungen in den Jahren 1983 und 1991. *Dtsch Zahnärztl Z* **50**, 154-156 (1995)



63. Kum KY, Spångberg L, Cha BY, Il-Young J, Seung-Jong L, Chan-Young L: Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *J Endodont* **26**, 719-723 (2000)
64. Kyomen SM, Caputo AA, White SN: Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J Endodont* **20**, 332-337 (1994)
65. Lazarski MP, Walker WA 3<sup>rd</sup>, Flores CM, Schindler WG, Hargreaves KM: Epidemiological Evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients. *J Endodont* **27**, 791-796 (2001)
66. Lee DH, Park JB, Andreasen GF, Lakes RS: Thermomechanical study of Ni-ti alloys. *J Biomed Mater Res* **22**, 573-588 (1988)
67. Lee DH, Park JB, Saxena A, Serene, TP: Enhanced surface hardness by boron implantation in nitinol alloy. *J Endodont* **22**, 543-546 (1996)
68. Lexikon Zahnmedizin, Zahntechnik. Verlag Urban & Fischer (Hrsg), München 2000
69. Lilley JD: Endodontic instrumentation before 1800. *J Br Endod Soc* **9**, 67-70 (1976)
70. Lim KC, Webber J: The effect of root canal preparation on the shape of the curved root canal. *Int Endod J* **18**, 233-239 (1985)
71. Lim KC, Webber J: The validity of simulated root canals for the investigation of the prepared root canal shape. *Int Endod J* **18**, 240-246 (1985)
72. Löst C, Wesselink PR, Winkler R: Grundlagen und Prinzipien moderner Endodontie. *Endodontie* **1**, 7-18 (1992)
73. Luiten DJ, Morgan LA, Baumgartner JC, Marshall JG: A Comparison of Four Instrumentation Techniques on Apical Canal Transportation. *J Endodont* **21**, 26-32 (1995)
74. Lussi A, Nussbächer U, Grosrey J: A novel noninstrumented technique for cleaning the root canal system. *J Endodont* **19**, 549-553 (1993)
75. Mandel E; Adib-Yazdi M, Benhamou LM, Lachkar T, Mesgouez C, Sobel M: Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage. *Int Endod J* **32**, 436-443 (1999)

76. Matsumoto T, Nagai T, Ida K, Ito M, Kawai Y: Factors affecting successful prognosis of root canal treatment. *J Endodont* **13**, 239-242 (1987)
77. Mayhew M, Kusy RP: Effects of sterilization on the mechanical properties and the surface topography of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop* **93**, 232-236 (1988)
78. Melius B, Jiang J, Zhu Q: Measurement of the distance between the minor foramen and the anatomic apex by digital and conventional radiography. *J Endodont* **28**, 125-126 (2002)
79. Mesgouez C, Rilliard F, Matossian L, Nassiri K, Mandel E: Influence of operator experience on canal preparation time when using the rotary Ni-Ti ProFile system in simulated curved canals. *Int Endod J* **36**, 161-165 (2003)
80. Michel K: Wurzelkanalbehandlung im Jahre 1900: Instrumente, Materialien und Methoden. Med. Diss. Gießen 1993
81. Milas VB: History. In Cohen, Burns (Hrsg.): Pathways of the pulp. C.V., Mosby St.Louis, USA 1987, 619-684
82. Molven O, Halse A: Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-0 root fillings made by undergraduate students: radiographic findings after 10 years. *Int Endod J* **21**, 243-250 (1988)
83. Mumford JM, Jedynekiewicz NM: Principles of Endodontics. Quintessence Publishing Co., London–Chicago–Berlin–São Paulo–Tokyo 1988
84. Nair PN, Sjogren U, Krey G, Sundqvist G: Therapy-resistant foreign body giant cell granuloma at the periapex of a root-filled human tooth. *J Endodont* **16**, 589-595 (1990)
85. Namazikhah MS, Mokhlis HR, Alasmakh K: Comparison between a hand stainless-steel K file and a rotary NiTi .04 taper. *J Calif Dent Assoc* **28**, 421-426 (2000)
86. Parashos P, Messer HH: Questionnaire survey on the use of rotary nickel-titanium endodontic instruments by Australian dentists. *Int Endod J* **37**, 249-259 (2004)

87. Patino PV, Biedma BM, Liebana CR, Cantatore G, Bahillo JG: The Influence of a Manual Glide Path on the Separation Rate of NiTi Rotary Instruments. *J Endodont* **31**, 114-116 (2005)
88. Peters OA: Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review. *J Endodont* **30**, 559-567 (2004)
89. Pertot WJ, Camps JJ, Damiani MG: Transportation of curved canals prepared with Canal Master U, Canal Master U NiTi and stepback technique. Abstract, *Int Endod J* **27**, 105–106 (1994)
90. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F: Three dimensional analysis of root canal geometry using high-resolution computed tomography. *J Dent Res* **79**, 1405-1409 (2000)
91. Pettiette MT, Delano EO, Trope M: Evaluation of Success Rate of Endodontic Treatment Performed by Students with Stainless-Steel K-Files and Nickel-Titanium Hand Files. *J Endodont* **27**, 124-127 (2001)
92. Pettiette MT, Metzger Z, Phillips C, Trope M: Endodontic Complications of Root Canal Therapy Performed by Dental Students with Stainless-Steel K-Files and Nickel-Titanium Hand Files. *J Endodont* **25**, 230-234 (1999)
93. Platzer U, Sedelmayer J: Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung: Neue Instrumente – neue Techniken? In Akademie Praxis und Wissenschaft (Hrsg.): Endodontie: Neue Erkenntnisse aus Praxis und Wissenschaft. *Hanser*, München–Wien 1993, 97–105
94. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL: cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endodont* **23**, 77-85 (1997)
95. Qualtrough AJ, Whitworth JM, Dummer PM: Preclinical endodontology: an international comparison. *Int Endod J* **32**, 406-414 (1999)
96. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the quality of the root filling and the coronal restauration. *Int Endod J* **28**, 12-18 (1995)
97. Roane J, Sabala CL, Duncanson MG: The balanced force concept for instrumentation of curved canals. *J Endodont* **11**, 203-211 (1985)
98. Roth AE: Einfluß von Behandlungserfahrung auf die Qualität der Wurzelkanalaufbereitung mit permanent rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten, Inaugural-Dissertation, Köln 2001

99. Rouot J: Die Zahnheilkunde in der Antike. In Toellner R. (Hrsg.): Illustrierte Geschichte der Medizin. *Karl Müller Verlag*, Erlangen 1992
100. Samyn JA, Nicholls JI, Steiner JC: A comparison of stainless steel and nickel-titanium instruments in molar root canal preparation. Abstract RS 2, *J Endodont* **21**, 215 (1995)
101. Sarkar NK; Redmond W, Schwaninger BM, Goldberg JA: The chloride corrosion behaviour of four orthodontic wires. Abstract 22, *J Dent Res* **58**, 98 (1979)
102. Sarkar NK, Schwaninger B: The in vivo corrosion of Nitinol wire. Abstract 1035, *J Dent Res* **59**, 528 (1980)
103. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JEA, Messer HH: Defects in rotary Nickel-Titanium files after clinical use. *J Endodont* **26**, 161-165 (2000a)
104. Schäfer E: Auswirkungen verschiedener Sterilisationsverfahren auf die Schneidleistung von Wurzelkanalinstrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z* **50**, 150–153 (1995)
105. Schäfer E: Effects of Four Instrumentation Techniques on Curved Canals: A Comparison Study. *J Endodont* **12**, 685-689 (1996)
106. Schäfer E: Shaping ability of HERO 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **92**, 215-220 (2001)
107. Schäfer E: Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Instrumenten zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. In Hülsmann M (Hrsg.): Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten: ein Handbuch. *Quintessenz Verlags-GmbH*, Berlin, Chicago, London, Kopenhagen, Paris, Mailand, Barcelona, Istanbul, Saõ Paulo, Tokio, Neu Dehli, Moskau, Prag, Warschau 2002, 35-46
108. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J: Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endodont* **28**, 211-216 (2002)
109. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T: Influence of different types of automated devices on the shaping ability of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments. *Int Endod J* **38**, 627-636 (2005)
110. Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 1.

- Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* **35**, 505-513 (2002a)
111. Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* **35**, 514-521 (2002b)
112. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G: Comparison of Hand Stainless Steel and Nickel Titanium Rotary Instrumentation: A Clinical Study. *J Endodont* **30**, 432-435 (2004)
113. Schäfer E, Tepel J: Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* **48**, 653–658 (1993)
114. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W: Rationelles Arbeiten mit Wurzelkanalinstrumenten: Ein Vergleich zwischen herkömmlichen und neueren, sogenannten flexiblen Wurzelkanalinstrumente. *Österr Z Stomatol* **91**, 161-166 (1994d)
115. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W: Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. Instrumentation of curved canals. *J Endodont* **21**, 493-497 (1995)
116. Schäfer E, Vlassis M: Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* **37**, 229-238 (2005)
117. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* **18**, 269–296 (1974)
118. Schmalz G: Die Wurzelkanalbehandlung – Klinische Erfolg. *Dtsch Zahnärztl Z* **45**, 251-256 (1990)
119. Schneider SW: A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **32**, 271-275 (1971)
120. Schrader C, Ackermann M, Barbakow F: Step-by-step description of a rotary root canal preparation technique. *Int Endod J* **32**, 312-320 (1999)
121. Schulte A, Pieper K, Charalabidou O, Stoll R, Stachniss V: Prevalence and quality of root canal fillings in a German adult population. A survey of orthopantomograms taken in 1983 and 1992. *Clin Oral Investig.* **2**, 67-72 (1998)

122. Serene TP: On the cutting edge with nickel-titanium. Abstract Scientific Session IV. *J Endodont* **20**, 421-422 (1994)
123. Serene TP, Adams JD, Saxena A: Nickel-Titanium Instruments. Applications in Endodontics. *Ishiyaku EuroAmerica Inc.*, St. Louis, USA 1995
124. Sjögren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endodont* **16**, 498-504 (1990)
125. Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V: Root canal shaping with manual stainless steel and rotary Ni-Ti files performed by students. *Int Endod J* **36**, 246-255 (2003)
126. Städtler P: Zahnerhaltung in Klinik und Praxis. *Ecomed*, Landsberg/Lech 1994
127. Stoeckel D, Yu W: Superelastic Ni-Ti wire. *Wire J Int* **24**, 45-50 (1991)
128. Stone R, Zuolo M, Walton R: Apical transportation: Steel vs NiTi hand vs NiTi rotary. Abstract RS 6, *J Endodont* **21**, 216 (1995)
129. Strübig W: Geschichte der Zahnheilkunde. *Dtsch Ärzteverlag*, Köln 1989, 106-124
130. Svec TA, Powers JM: Effects of simulated clinical conditions on nickel-titanium rotary files. *J Endodont* **25**, 759-760 (1999)
131. Svec TA, Wang MM: Precurving of nickel-titanium files affects transportation in simulated canals. *J Endodont* **24**, 23-25 (1998)
132. Szep S: In-vitro-Untersuchung zur manuellen Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit verschiedenen biegsamen Kerr-Feilen. Med Diss. Frankfurt 1995
133. Tepel J: Frakturanfälligkeit von Wurzelkanalinstrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z* **49**, 837-840 (1994)
134. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W: Kunststoffe als Modellmaterial in der Endodontie. *Dtsch Zahnärztl Z* **48**, 736-738 (1993)
135. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W: Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 1. Cutting efficiency. *J Endodont* **21**, 418-421 (1995a)
136. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W: Root canal instruments for manual use: Cutting efficiency and instrumentation of curved canals in a combined rotary and linear motion. *Int Endod J* **28**, 68-76 (1995b)

137. Testarelli L, Gallottini L, Gambarini G: Mechanical properties of nickel-titanium files following multiple heat sterilizations. *Minerva Stomat* **52**, 169-173 (2003)
138. Thompson SA, Dummer PMH: Shaping ability of Quantec Series 2000 rotary nickel.titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J* **31**, 259-267 (1998)
139. Thompson SA, Dummer PMH: Shaping ability of HERO 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1. *Int Endod J* **33**, 248-254 (2000a)
140. Thompson SA, Dummer PMH: Shaping ability of HERO 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 2. *Int Endod J* **33**, 255-261 (2000b)
141. Tronstad L: Clinical endodontics. *Thieme*, Stuttgart-New York 1991
142. Tronstad L, Trope M, Bank M, Barnett F: Surgical access for endodontic treatment of intruded teeth. *Endod Dent Traumatol* **2**, 75-78 (1986)
143. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM: Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endodont* **26**, 414-417 (2000)
144. Voß A: Die Aufbereitung des gekrümmten Wurzelkanals. Deutscher Zahnärztekalendar 1995, *Hanser*, München-Wien 1995, 87-114
145. Walia H, Brantley WA, Gerstein H: An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endodont* **14**, 346-351 (1988)
146. Weiger R, Bruckner M, El Ayouti A, Löst C: Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files. *Int Endod J* **36**, 483-490 (2003)
147. Weine FS: Endodontic therapy. *C.V. Mosby*, St.Louis–Baltimore–Toronto 1989
148. Weine FS, Kelly RF, Lio P: The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endodont* **8**, 255-262 (1975)
149. Weine FS, Kelly RF, Bray KE: Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. *J Endodont* **10**, 298-303 (1976)

150. Wolter R: Zur Geschichte der Pulpa- und Wurzelkanalbehandlung. Med. Diss. Leipzig 1955
151. Wu MK, de Schwartz FBC, van der Sluis WM, Wesselink PR: The quality of root fillings remaining in mandibular incisors after root-end cavity preparation. *Int Endod J* **34**, 613-619 (2001)
152. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE: Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **89**, 99-103 (2000)
153. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P: Failure of ProFile NiTi instruments used with high and low torque motors. *Int Endod J* **34**, 471-475 (2001a)
154. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P: Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *Int Endod J* **34**, 47-53 (2001b)
155. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P, Kulkarni GK: Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *Int Endod J* **35**, 7-12 (2002)
156. Yared GM, Kulkarni GK: Failure of ProFile NiTi instruments used by an inexperienced operator under access limitations. *Int Endod J* **35**, 536-541 (2002)
157. Zöfel P: Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung. Addison Wesley Verlag, München 2001



## **9. Anhang**

### **9.1. Materialliste**

1. Epoxidharz-Blöckchen (VDW, München, Deutschland)
2. K-Feilen 25 mm (VDW, München, Deutschland)
3. FlexMaster® Ni-Ti-System 25 mm (VDW, München, Deutschland)
4. Diamant-Schleifer (Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland)
5. 0,1%, wässrige Methylenblau-Lösung Farbstoff Methylenblau (Apotheke der Phillips Universität, Marburg, Deutschland)
6. Abformungs-Silikon Provil® novo Putty (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland)
7. Fotokamera-Stativ (Feinmechanische Werkstätten Philipps Universität, Marburg, Deutschland)
8. Digitalkamera Olympus Camedia C-2500 L (Olympus, Hamburg, Deutschland)
9. Chip-Karte Smart Media Card 128 MB (Smart Media, Hagenbrunn, Deutschland)
10. PC (Peacock, Bad Wünnenberg-Haaren, Deutschland)
- 11.6 Gates-Glidden-Bohrer Typ G, Markierung: schwarz, grün, blau, rot, gelb, weiß (Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland)

12. Guttapercha-Stift 28 mm (Orbis Dental, Offenbach, Deutschland)
13. Endo IT Control Schrittmotor (VDW, München, Deutschland)
14. Gleitmittel Glyde (Dentsply De Trey, Konstanz, Deutschland)
15. Alkohol, 98% (Velind Chemie GmbH, Schwedt, Deutschland)
16. ACDSee V. 3.0 Bildbearbeitung (ACDSee, North Collins, USA)
17. Auflichtmikroskop (Zeiss, Oberkochen, Deutschland)
18. Adobe Photoshop 5.5 Bildbearbeitung (Adobe, San Jose, USA)
19. Excel, Office 2000 (Microsoft, Redmond, USA)
20. SPSS 11.0 Statistik (SPSS, Chicago, USA)

## 9.2. Tabellen

<i>Untersuchungs- parameter</i>	<i>Manuell</i>	<i>Maschinell</i>	<i>Irrtumswahrscheinlichkeit u. Signifikanz</i>
Elbow	62 %	34,2 %	$p \leq 0,001$ ***
Zip	47,3 %	17,3 %	$p \leq 0,001$ ***
Ledge	11,3 %	5,3 %	$p \leq 0,05$ *
MP korrekt	48 %	68,2 %	$p \leq 0,05$ *
MP zu kurz	44,7 %	13,8 %	$p \leq 0,001$ ***
MP zu lang	7,3 %	18 %	$p \leq 0,05$ *
AF unversehrt	25,3 %	28 %	$p > 0,05$ ns
AF erweitert	36 %	30 %	$p > 0,05$ ns
AF verblockt	38,7 %	42 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 1 mm	47,5 %	29,3 %	$p \leq 0,001$ ***
TrMsPt 3 mm	41,5 %	29,3 %	$p \leq 0,05$ *
TrMsPt 5 mm	33,8 %	12,8 %	$p \leq 0,001$ ***
TrMsPt 7 mm	74,3 %	49,5 %	$p \leq 0,01$ **
TrMsPt 9 mm	13,5 %	9,9 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 11 mm	23,6 %	13,3 %	$p \leq 0,05$ *
Aufbereit.zeit	13 min (Median)	8 min (Median)	$p \leq 0,001$ ***

Tab. 12: Ergebnisse der manuellen und maschinellen Aufbereitung

[MP = Masterpoint; AF = Apikales Foramen; TrMsPt = Messpunkt der Transportation (n = 1 mm bis 11 mm Abstand des Messpunktes vom Foramen) ]

	<i>Manuell Anzahl (%)</i>	<i>Maschinell Anzahl (%)</i>	<i>Beide Systeme Anzahl (%)</i>
1. <i>Einfachheit</i>	-- (0 %)	18 (60 %)	12 (40 %)
2. <i>Sicherheit</i>	3 (10 %)	25 (83,3 %)	2 (6,7 %)
3. <i>Ausbildungs- schwerpunkt</i>	1 (3,3 %)	14 (46,7 %)	15 (50 %)

Tab. 13: Daten der Behandlerbefragung (n = 30)

1. Welche Aufbereitungsart erschien Ihnen einfacher zu erlernen?
2. Bei welchem System fühlten Sie sich sicherer in der Anwendung?
3. Welche Art der Aufbereitung würden Sie sich als Schwerpunkt Ihrer Ausbildung wünschen?

<i>Untersuchungs- parameter</i>	<i>Gruppe A</i>	<i>Gruppe B</i>	<i>Irrtumswahrschein- lichkeit u. Signifikanz</i>
Elbow	36,0 %	32,4 %	$p > 0,05$ ns
Zip	14,2 %	20,4 %	$p > 0,05$ ns
Ledge	3,1 %	7,6 %	$p \leq 0,05$ *
MP korrekt	72,0 %	64,4 %	$p > 0,05$ ns
MP zu kurz	12,9 %	14,7 %	$p > 0,05$ ns
MP zu lang	15,1 %	20,9 %	$p > 0,05$ ns
AF unversehrt	27,1 %	28,9 %	$p > 0,05$ ns
AF erweitert	23,6 %	36,4 %	$p > 0,05$ ns
AF verblockt	49,3 %	34,7 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 1 mm	25,3 %	18,7 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 3 mm	35,2 %	30,6 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 5 mm	13,8 %	17,3 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 7 mm	51,4 %	52,0 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 9 mm	9,4 %	5,3 %	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 11 mm	13,2 %	8,0%	$p > 0,05$ ns
Aufbereit.zeit	10 min (Median)	7 min (Median)	$p \leq 0,001$ ***

*Tab. 14: Ergebnisse der maschinellen Aufbereitung mit  
und ohne Erfahrung in der manuellen Aufbereitung*

[Gruppe A mit Erfahrung in der manuellen Aufbereitung

Gruppe B ohne Erfahrung in der manuellen Aufbereitung;

MP = Masterpoint; AF = Apikales Foramen; TrMsPt = Messpunkt der

Transportation (n = 1 mm bis 11 mm Abstand des Messpunktes vom Foramen) ]

<i>Aufbereitung</i>	<i>Manuell Anzahl (Prozent)</i>	<i>Maschinell Anzahl (Prozent)</i>
1. – 5. (n = 150)	2 (1,3 %)	3 (2,0 %)
6. – 10. (n = 150)	keine Aufbereitung	1 (0,67 %)
11. – 15. (n = 150)	keine Aufbereitung	2 (1,34 %)
<b>Gesamt (n = 600)</b>	<b>2 (1,3 %)</b>	<b>6 (1,3 %)</b>

Tab. 15: Anzahl der Instrumentenfrakturen bei der manuellen (n = 150) und maschinellen Aufbereitung (n = 450)

<i>Code-Nr. der Behandler</i>	<i>Anzahl der frakturierten manuellen Feilen</i>	<i>Anzahl der frakturierten maschinellen Feilen</i>
5	1	2
17	--	3
6	1	--
24	--	1

Tab. 16: Anzahl der Frakturen durch einzelne Behandler (n = 30) bei der manuellen und maschinellen Aufbereitung

### **9.3. Erklärung zur Vorabveröffentlichung von Ergebnissen**

Im Einvernehmen mit Herrn Prof. Dr. V. Stachniss wurden die Ergebnisse dieser Dissertation bereits vor Abschluss des Promotionsverfahrens an folgenden Stellen veröffentlicht:

1. Posterpräsentation und Kurzreferat mit dem Titel: „*Manuelle und maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti Feilen durch Studierende*“ im Wettbewerb um den DGZMK/BZÄK Dentsply-Förderpreis 2003 in Aachen am 18.10.03
2. Artikel mit dem Titel „*Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students*“ in *Int Endod J* **36**, 715-723 (2003).

## 9.4. Lebenslauf

### Stephan Delschen

geboren	am 04.11.1977, in Krefeld
Eltern	Johannes und Marlies
Geschwister	Oliver, Anne
Familienstand	verheiratet mit Maja

#### Schule

1984 – 1985 Grundschule in Krefeld-Hüls  
 1985 – 1988 Grundschule in Ransbach-Baumbach  
 1988 – 1997 Mons-Tabor-Gymnasium Montabaur

- 06.97 allgemeine Hochschulreife

#### Zivildienst

1997 – 1998 Rettungssanitäter beim Deutschen  
 Roten Kreuz in Montabaur

- 10.97 staatlich anerkannter  
 Rettungssanitäter

#### Hochschule

1998 – 2000 Medizinische Fakultät der Universität  
 zu Marburg

- Studiengang Medizin

2000 – 2004 Zentrum für Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde  
 der Universität zu Marburg

- 09.00 naturwissenschaftliche  
 Vorprüfung
- 08.01 zahnärztliche Vorprüfung
- 12.04 zahnärztliche Prüfung

#### Beruf

seit 2005 Assistenz Zahnarzt in Marburg  
 Praxis Dr. Günther



## **10. Danksagung**

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

An erster Stelle ist Herr Prof. Dr. V. Stachniss für die Überlassung des Themas und die Unterstützung während der Arbeitsprozesses zu nennen.

Besonders sei Herr Dr. D. Sonntag erwähnt, der durch seine Ermutigungen und nicht endende Hilfsbereitschaft zur Fertigstellung der Arbeit beitrug und mich auch darüber hinaus stets förderte.

Für die Empfehlung als Doktorand gilt mein ausdrücklicher Dank Herrn Dr. Dr. A. Guntermann.

Ich danke außerdem den Studentinnen und Studenten des Phantomkurses III im Wintersemester 2001/2002 aus dem Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde der Universität zu Marburg für ihr ehrliches Interesse und die Bereitschaft, die Versuche gewissenhaft durchzuführen.

Weiterhin gilt mein Dank der Firma VDW (München, Deutschland) für die Bereitstellung der Instrumente, Endo-Blöckchen und Schrittmotoren.

Meinen Eltern und Geschwistern danke ich für die aufmunternden Worte und ihren positiven Zuspruch. Meinem Onkel, Karl-Heinrich Delschen, danke ich für seine Hilfsbereitschaft.

Besonderer Dank gebührt meiner Frau Maja, ohne deren Liebe, Unterstützung und die immer wieder motivierenden Worte diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

## **11. Akademische Lehrer**

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Universitäts-Professoren und Dozenten:

Aumüller, Austermann, Bach, Basler, Czubayko, Dalchow, Daut, Dibbets, Feuser, Fruhstorfer, Flores-de-Jacoby, Gente, Geus, Hasilik, Höffgen, Jungclas, Kern, Koolmann, Lammel, Lang, Lehmann, Lill, Löffler, Lotzmann, McGregor, Mengel, Mittag, Moll, Mutters, Neumüller, Pieper, Radsak, Röhm, Schneider, Seitz, Sonntag, Stachniss, Steiniger, Stelzel, Stiletto, Stoll, Umstadt, Voigt, Volz, Wagner, Weihe, Wenz, Werner, Westermann.

## 12. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

Einfluss des Übungseffektes auf die  
Anwendungssicherheit der maschinellen  
Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti-Feilen  
in der studentischen Ausbildung

im Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg unter der Anleitung von Prof. Dr. Stachniss und Oberarzt Dr. Sonntag ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende, oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Vorliegende Arbeit wurde in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

1. Posterpräsentation und Kurzreferat mit dem Titel: *„Manuelle und maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti Feilen durch Studierende“* im Wettbewerb um den DGZMK/BZÄK Dentsply-Förderpreis 2003 in Aachen am 18.10.03
2. Artikel mit dem Titel *„Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students“* in *Int Endod J* **36**, 715-723 (2003).

Marburg, 08.05.2006